

## Züchterische Weiterentwicklung samenfester Brokkolisorten für den Ökologischen Landbau im Hinblick auf agronomische Merkmale, sekundäre, bioaktive Inhaltsstoffe und sensorische Eigenschaften

Improvement of open pollinating broccoli varieties for organic farming focusing on agronomic parameters, bioactive substances and sensorial traits

FKZ: 10OE112

**Projektnehmer:**

Universität Hohenheim  
Institut für Kulturpflanzenwissenschaften  
Fruwirthstraße 23, 70599 Stuttgart  
Tel.: +49 711 459 24115  
Fax: +49 711 45922297  
E-Mail: [claupein@uni-hohenheim.de](mailto:claupein@uni-hohenheim.de)  
Internet: [www.uni-hohenheim.de/pflanzenbau](http://www.uni-hohenheim.de/pflanzenbau)

**Autoren:**

Wolf, Stefanie; Zikeli, Sabine; Graeff-Hönninger, Simone; Claupein, Wilhelm

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

Die inhaltliche Verantwortung für den vorliegenden Abschlussbericht inkl. aller erarbeiteten Ergebnisse und der daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen liegt beim Autor / der Autorin / dem Autorenteam. Bis zum formellen Abschluss des Projektes in der Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft können sich noch Änderungen ergeben.

UNIVERSITÄT HOHENHEIM



Abschlussbericht für den Bereich „**Pflanzenzüchtung für den Ökologischen Landbau**“ im Rahmen des Bundesprogramms zur Förderung des Ökologischen Landbaus und anderer Formen der nachhaltigen Landwirtschaft

**Züchterische Weiterentwicklung samenfester  
Brokkolisorten für den Ökologischen Landbau  
im Hinblick auf agronomische Merkmale,  
sekundäre, bioaktive Inhaltsstoffe und  
sensorische Eigenschaften**

Teilprojekt:  
Bestimmung sekundärer, bioaktiver Inhaltsstoffe, Methodenentwicklung  
Sensortechnik, Sensorische Analysen

Laufzeit und Berichtszeitraum: 15.07.2011-14.07.2014

Förderkennzeichen: 2810OE112 (Universität Hohenheim)

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften  
Fachgebiet Allgemeiner Pflanzenbau (340a)  
Koordinationsstelle Ökologischer Landbau  
Prof. Dr. W. CLAUPEIN  
Fruwirthstr. 23  
70599 Stuttgart

Hohenheim, August 2014

## Kurzfassung (deutsch)

Ziel des Projektes war, Zuchtpopulationen bzw. traditionelle, offen blühende Brokkoli-Sorten (keine Hybriden bzw. CMS-Hybriden) speziell für den Ökologischen Landbau zu prüfen. Wichtige Eigenschaften waren dabei Ertragssicherheit, Einheitlichkeit, enges Erntefenster, Festigkeit der Blume sowie hohe Gehalte an sekundären, bioaktiven Inhaltsstoffen, insbesondere von Glucosinolaten. Um eine schnelle und kostengünstige Möglichkeit zum Screening von bioaktiven Inhaltsstoffen zu entwickeln, die für den On-Farm-Einsatz geeignet ist, wurde zudem ein zerstörungsfrei arbeitendes Sensortool getestet. Während der dreijährigen Projektlaufzeit erfolgten On-Farm-Selektionen geeigneter Brokkoliliniensorten auf Kultursaat-Zuchtstandorten sowie auf der Versuchsstation für Ökologischen Landbau Kleinhohenheim, Universität Hohenheim.

Die Ergebnisse des Projektes zeigten, dass bei großer Variabilität unter den Genotypen einige bereits vielversprechende agronomische Eigenschaften (Blumengewicht, Aberntegrad, Ertrag, Blumendurchmesser) aufwiesen, die nur leicht unter denen der untersuchten Hybriden lagen. Die Glucosinolatgehalte waren signifikant abhängig von Genotyp und Anbauzeitraum, wobei die samenfesten Genotypen und Sorten tendenziell höhere Glucosinolatgehalte zeigten als die Hybridsorten. Im Projektverlauf konnte beim Vergleich der Mutterlinien mit den züchterisch bearbeiteten Genotypen ein Zuchtfortschritt zu höheren Glucosinolatgehalten festgestellt werden. Für Einzelglucosinolate konnte eine Kalibrierung des Sensortools erfolgreich durchgeführt werden, wobei der Beginn der Blumenentwicklung sich als Zeitpunkt für erste Messungen als günstig erwies. Der Einsatz des Sensortools im Blattstadium war jedoch nicht möglich. Bei den Verkostungen durch hedonische und analytische Panels wurden zwei samenfeste Genotypen und eine Hybride als besonders schmackhaft bewertet. Schlussendlich konnten zwei samenfeste Genotypen identifiziert werden, die in allen Eigenschaften (agronomisch, Glucosinolatgehalte, Geschmack) gut bis sehr gut bewertet wurden und daher für die weitere Sortenentwicklung geeignet sind.

## Abstract (English)

The project aim was to test and select genotypes and traditional open pollinating varieties of broccoli (no hybrids or CMS-hybrids) for suitable for organic farming. Selection criteria were agronomic parameters like stability of yield, uniformity, harvesting period, firmness of heads and high levels of bioactive health benefitting compounds in the plant material. In addition, to make the breeding process for bioactive compounds faster and cheaper for on-farm-breeders, a sensor tool to determine secondary plant metabolites was tested and calibrated. During the three-year project period on-farm selection of genotypes took place with Kultursaat e.V.-on-farm-breeders and at the organic research station of the University of Hohenheim. Together with the cooperation partner Kultursaat e.V., Broccoli genotypes, selected by Kultursaat e.V.,

were tested for secondary plant compounds, especially glucosinolates, and agronomic parameters.

The project results showed that despite the large variability within the open pollinated genotypes some already performed similar to hybrid varieties frequently used in organic farming. Some of the open pollinated genotypes showed only slightly lower head weights, yields and diameter of heads. The contents of glucosinolates were significantly related to the factors “genotype” and “cultivation period”. The open pollinated genotypes and varieties showed a trend to higher glucosinolate contents compared to the hybrids. During project duration higher glucosinolate contents were determined in the offspring compared to the parent generation. This implies a breeding progress towards higher contents of bioactive compounds. The calibration of the sensor tool for different glucosinolates was completed and the start of head development was determined as the best starting point for measurements. It was not possible to calibrate the sensor tool for the vegetative stages of plant development. In the hedonic and analytic sensory panels, two open pollinating genotypes and one hybrid performed best in terms of taste. Finally, two open pollinated genotypes performed good to very good for almost all tested parameters and are recommended for further breeding activities.

### **Titel, Autor(en), Kontaktinformationen (Adresse, E-Mail),**

- Stefanie Wolf, Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fachgebiet Allgemeiner Pflanzenbau (340a), Fruwirthstr. 23, 70599 Stuttgart, stefanie.Wolf@uni-hohenheim.de
- Dr. Sabine Zikeli, Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Koordinationsstelle Ökologischer Landbau, Fruwirthstr. 14-16, 70599 Stuttgart, sabine.zikeli@uni-hohenheim.de
- Prof. Dr. Simone Graeff-Hönninger, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fachgebiet Allgemeiner Pflanzenbau (340a), Fruwirthstr. 23, 70599 Stuttgart, simone.graeff@uni-hohenheim.de
- Prof. Dr. Wilhelm Claupein, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fachgebiet Allgemeiner Pflanzenbau (340a), Fruwirthstr. 23, 70599 Stuttgart, claupein@uni-hohenheim.de

## Inhaltsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Kurzfassung (deutsch) .....  | 2  |
| Abstract (English) .....   | 2  |
| Titel, Autor(en), Kontaktinformationen (Adresse, E-Mail), .....                        | 3  |
| 1. Einführung .....  | 12 |
| 1.1 Gegenstand des Vorhabens.....  | 12 |
| 1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts.....                                       | 13 |
| 1.2.1 Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des BÖLN.....                    | 13 |
| 1.3 Planung und Ablauf des Projektes .....   | 13 |
| 2. Wissenschaftlicher und technischer Stand .....                                      | 15 |
| 3. Material und Methoden .....   | 18 |
| 3.1 Versuchsstandort .....   | 18 |
| 3.2 Versuchsanlage und Versuchsdurchführung.....                                       | 18 |
| 3.3 Genotypen und Sorten .....   | 20 |
| 3.4 Sensormessungen.....   | 21 |
| 3.5 Probenahme des Pflanzenmaterials .....   | 22 |
| 3.6 Bestimmung der agronomischen Parameter .....                                       | 22 |
| 3.7 Analytische Bestimmung der Glucosinolate.....                                      | 24 |
| 3.7.1 Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) .....                            | 24 |
| 3.7.2 Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) .....  | 25 |
| 3.8 Antioxidatives Potenzial .....   | 25 |
| 3.9 Humansensorische Verkostungen.....   | 26 |
| 3.10 Statistik .....   | 26 |
| 4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse einschließlich Diskussion<br>28 |    |
| 4.1 Agronomische Eigenschaften der Genotypen.....                                      | 28 |
| 4.1.1 Gesamtpflanzengewicht, spezifisches Blattgewicht und Blattfläche.....            | 28 |
| 4.1.2 Blumengewicht und Aberntegrad .....  | 32 |
| 4.1.3 Blumendurchmesser .....  | 37 |
| 4.1.4 Blumenfestigkeit.....  | 38 |
| 4.1.5 Ertrag .....   | 39 |
| 4.2 Antioxidatives Potential.....  | 42 |
| 4.3 Glucosinolate .....  | 45 |
| 4.3.1 Gesamtglucosinolate.....   | 48 |
| 4.3.1 Glucoraphanin.....   | 50 |

|               |  |           |
|---------------|--|-----------|
| 4.3.2         | Glucobrassicin.....  | 53        |
| 4.3.3         | 4-Methoxyglucobrassicin .....  | 55        |
| 4.3.4         | 1-Methoxyglucobrassicin .....  | 58        |
| <b>4.4</b>    | <b>Sensortool Multiplex .....</b>  | <b>62</b> |
| 4.4.1         | Indizes des Multiplex®-Sensor .....  | 62        |
| 4.4.2         | Glucoraphaninbestimmung mittels Multiplex.....   | 63        |
| 4.4.3         | Glucobrassicinbestimmung mittels Multiplex.....  | 63        |
| 4.4.4         | 4-Methoxyglucobrassicinbestimmung mittels Multiplex.....   | 64        |
| 4.4.5         | 1-Methoxyglucobrassicin .....  | 65        |
| <b>4.5</b>    | <b>Humansensorische Tests .....</b>  | <b>68</b> |
| <b>4.5.1</b>  | <b>Verkostung durch ein hedonisches Panel.....</b>   | <b>68</b> |
| <b>4.5.2</b>  | <b>Verkostung durch ein geschultes Panel .....</b>   | <b>71</b> |
| <b>4.6</b>    | <b>On-Farm Versuche und Brokkoli-Workshop .....</b>  | <b>73</b> |
| <b>5.</b>     | <b>Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der<br/>Ergebnisse .....</b>  | <b>74</b> |
| <b>6.</b>     | <b>Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten<br/>Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen .....</b>  | <b>78</b> |
| <b>7.</b>     | <b>Zusammenfassung.....</b>  | <b>79</b> |
| <b>8.</b>     | <b>Literaturverzeichnis .....</b>  | <b>83</b> |
| <b>9.</b>     | <b>Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten<br/>Veröffentlichungen zum Projekt (Printmedien, Newsletter usw.), bisherige und<br/>geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse .....</b> | <b>89</b> |
| <b>ANHANG</b> | <b>.....</b>   | <b>92</b> |
| <b>II.</b>    | <b>Anhang zum Schlussbericht: kurz gefasster Erfolgskontrollbericht.</b>   |           |
|               | Fehler! Textmarke nicht definiert.   |           |

## Tabellenverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1: Multiplex-Ratios.....  | 22 |
| Tabelle 2: Übersicht der analysierten Glucosinolate und deren Retentionszeiten; IS=Interner Standard. ....  | 25 |
| Tabelle 3: Ergebnisse der ANOVA des Gesamtpflanzengewichts (F-Test mit den festen Effekten Probenahme, Genotyp und der Interaktion Block*Anbauzeitraum; Pr > F gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit für $\alpha = 0,05$ an). ....   | 28 |
| Tabelle 4: Ergebnisse der ANOVA für Gesamtpflanzengewicht [g], Blattgewicht [g] und Blattfläche [cm <sup>2</sup> ] der Genotypen und Sorten gemittelt über die Anbauzeiträume Frühjahr 2012 und Herbst 2012 sowie Frühjahr 2013; p<0,05; nb=nicht bestimmt, StrdF = Standardfehler, unterschiedliche Kleinbuchstaben geben signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen/Sorten an. ....   | 32 |
| Tabelle 5: Ergebnisse der ANOVA für Blumengewicht [g], Blumendurchmesser [cm], Blumenfestigkeit der Genotypen und Sorten gemittelt über die Anbauzeiträume Frühjahr 2012 und Herbst 2012 sowie Frühjahr 2013; p<0,05; nb=nicht bestimmt, StrdF = Standardfehler, unterschiedliche Kleinbuchstaben geben signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen/Sorten an; * Boniturskala von locker über mittel und fest, wobei 1 als locker definiert wurde. ....  | 34 |
| Tabelle 6: Ergebnisse der ANOVA des Blumengewichts (F-Test mit den festen Effekten Probenahme, Genotyp und der Interaktion Block*Anbauzeitraum; Pr > F gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit für $\alpha = 0,05$ an). ....   | 35 |
| Tabelle 7: Ergebnisse der ANOVA des Blumendurchmessers (F-Test mit den festen Effekten Probenahme, Genotyp und der Interaktion Block*Anbauzeitraum; Pr > F gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit für $\alpha = 0,05$ an). ....   | 38 |
| Tabelle 8: Ergebnisse der ANOVA der Blumenfestigkeit (F-Test mit den festen Effekten Probenahme, Genotyp und der Interaktion Block*Anbauzeitraum; Pr > F gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit für $\alpha = 0,05$ an), die Effekte haben einen signifikanten Einfluss wenn $p < 0,05$ ist. ....   | 39 |
| Tabelle 9: Erfasste Parameter zur Beurteilung des Ertrages im Mittel über alle Anbauzeiträume. ...  | 41 |
| Tabelle 10: Ergebnisse der ANOVA des wasserlöslichen antioxidativen Potenzials (ACW) und des lipidlöslichen antioxidativen Potenzials (ACL), p-Werte des F-Tests; feste Effekte Probenahme, Genotyp und des Blocks. Pr > F gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit an für $\alpha = 0,05$ ; Effekte sind signifikant für $p < 0,05$ . ....   | 42 |
| Tabelle 11: Wasserlösliches [ACW] und lipidlösliches antioxidatives Potenzial [ACL] in $\mu\text{mol g}^{-1}$ Trockenmasse (TM), Standardfehler und Signifikanzen (als Buchstabendarstellung) der 19 Genotypen und Sorten (Anbauzeiträumen Herbst 2011 und Frühjahr 2012); unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen (ANOVA, $p < 0.05$ ). ....  | 43 |
| Tabelle 12: Ergebnisse der NIRS-Kalibration für die einzelnen Glucosinolate mit Probenanzahl der eingespeisten Proben, dem Mittelwert der Proben und deren Standardabweichung, sowie das Bestimmtheitsmaß der Kalibrationsgeraden ....  | 47 |
| Tabelle 13: ANOVA für aliphatische GLS, indolische GLS und Gesamt GLS in Blume und Blatt; signifikante Unterschiede sind fett hervorgehoben. ....   | 48 |
| Tabelle 14: Mittelwerte mit Standardfehler des Glucoraphaningehalts (GRP), des Glucobrassicin Gehalts (GBS), des 4-Methoxyglucobrassicin Gehalts (METH) und des 1-Methoxyglucobrassicin Gehalts (NGB) [ $\mu\text{mol g}^{-1}$ TM] in den marktfähigen Blumen der 22 Genotypen und Sorten, gemittelt über die fünf Anbauzeiträume. Die Codierung der Genotypen / Sorten ist folgendermaßen: 1=Batavia F1; 2=Belstar F1; 3=Marathon F1; 4=Monterey F1; 5=Ironman F1; 6=Miranda; 7=Ramoso; 8=Limba; 9=KSV-BRO-CHE-BAL; 10=KSV-BRO-CHE-LIM; 11=KSV-BRO-CHE-GEB; 12=KSV-BRO-CHE-GRE; 13=KSV-BRO-CHE-MIC; 14=KSV-BRO-CHE-MIC blau; 15=KSV-BRO-CHE-MIC grau; 16=KSV-BRO-TH-CAN-FK; 17=KSV-BRO-Calabrese spät; 18=KSV-BRO-TH-CAN-FS18; 19=KSV-BRO-CHE-ATL; 20=KSV-BRO-CHE-CAL; |    |

|  |    |
|--|----|
| 21=KSV-BRO-CN-COA; 22=KSV-BRO-CN-PRI. Unterschiedliche Buchstaben indizieren signifikante Unterschiede, wobei der Buchstabe ‚a‘ für den höchsten Wert steht. ANOVA, F-Test mit $p < 0,05$ .....  | 49 |
| Tabelle 15: Ergebnisse der ANOVA des Gehalts an Glucoraphanin (GRP) in den Brokkoliblumen aller Genotypen zu allen Anbauzeiträumen. Angegeben sind die p-Werte des F-Tests mit den festen Effekten Probenahme, Genotyp und der Interaktion Block. $Pr > F$ gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit bei einem $\alpha = 0,05$ . Die Effekte haben einen signifikanten Einfluss wenn $p < 0,05$ ist. ....           | 50 |
| Tabelle 16: Ergebnisse der ANOVA des Gehalts an Glucobrassicin (GBS) in den Brokkoliblumen aller Genotypen zu allen Anbauzeiträumen. Angegeben sind die p-Werte des F-Tests mit den festen Effekten Probenahme, Genotyp und der Interaktion Block. $Pr > F$ gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit bei einem $\alpha = 0,05$ . Die Effekte haben einen signifikanten Einfluss wenn $p < 0,05$ ist. ....          | 53 |
| Tabelle 17: Ergebnisse der ANOVA des Gehalts an 4-Methoxyglucobrassicin in den Brokkoliblumen aller Genotypen zu allen Anbauzeiträumen. Angegeben sind die p-Werte des F-Tests mit den festen Effekten Probenahme, Genotyp und der Interaktion Block. $Pr > F$ gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit bei einem $\alpha = 0,05$ . Die Effekte haben einen signifikanten Einfluss wenn $p < 0,05$ ist. ....       | 56 |
| Tabelle 18: Ergebnisse der ANOVA des Gehalts an 1-Methoxyglucobrassicin (NGB) in den Brokkoliblumen aller Genotypen zu allen Anbauzeiträumen. Angegeben sind die p-Werte des F-Tests mit den festen Effekten Probenahme, Genotyp und der Interaktion Block. $Pr > F$ gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit bei einem $\alpha = 0,05$ . Die Effekte haben einen signifikanten Einfluss wenn $p < 0,05$ ist. .... | 58 |
| Tabelle 19: Pearson’scher Korrelationskoeffizient für einige ausgewählte Sorten/Genotypen im Hinblick auf ihren Glucoraphaningehalt und den BGV-Index.....   | 63 |
| Tabelle 20: Ergebnisse der Verkostung verschiedener Brokkoli-Genotypen und –sorten im Jahr 2012 an der Uni Hohenheim mit einem hedonischen Panel; Pfeile stehen für $\uparrow$ hohe und $\downarrow$ niedrige Ausprägungen dieses Merkmals; Kleinbuchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede für $p < 0,05$ . ....   | 69 |
| Tabelle 21: Ergebnisse der Verkostung verschiedener Brokkoli-Genotypen und –sorten im Jahr 2013 an der Uni Hohenheim mit einem hedonsichen Panel; Pfeile stehen für $\uparrow$ hohe und $\downarrow$ niedrige Ausprägungen dieses Merkmals; Kleinbuchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede für $p < 0,05$ . ....   | 70 |
| Tabelle 22: Ergebnisse der Verkostung verschiedener Brokkoli-Genotypen und –sorten im Jahr 2011 am Max-Rubner Institut mit einem professionellen Panel, Pfeile stehen für $\uparrow$ hohe und $\downarrow$ niedrige Ausprägungen dieses Merkmals; Kleinbuchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede für $p < 0,05$ . ....   | 72 |
| Tabelle 23: Ergebnisse der Verkostung verschiedener Brokkoli-Genotypen und –sorten im Jahr 2012 am Max-Rubner Institut mit einem professionellen Panel, Pfeile stehen für $\uparrow$ hohe und $\downarrow$ niedrige Ausprägungen dieses Merkmals; Kleinbuchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede für $p < 0,05$ . ....   | 72 |
| Tabelle 24: Erfasste Parameter der Hybridsorten und samenfesten Genotypen im Vergleich zueinander. + steht für eine schwache, ++ für eine mittlere und +++ für eine starke Ausprägung dieses Attributs. ....   | 76 |
| Tabelle 25: Alle im Versuch getesteten Brokkoli-Sorten und –Genotypen und deren Anbauzeiträumen; Farblich unterlegt: Anbauzeiträume in im Versuch. ....  | 92 |

## Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Klimadiagramm des Jahres 2012 mit monatlichen Mittelwerten der Temperaturen, gemessen in 2 m Höhe, des Niederschlags [mm] und der Sonnenstunden als Summe pro Monat.....  | 18 |
| Abbildung 2: Brokkoli nach der Pflanzung im Herbst 2013. ....  | 19 |
| Abbildung 3: Zuchtschema der Brokkolilini von Kultursaat e.V. ....   | 20 |
| Abbildung 4: Einteilung der verschiedenen Blumenkopfformen in die verwendete Boniturskala. ...   | 23 |
| Abbildung 5: Einteilung der verschiedenen Verzweigungsformen in die verwendete Boniturskala.   | 23 |
| Abbildung 6: Lineare Regression des Blumengewichts [g] in Abhängigkeit vom Gesamtpflanzengewicht [g] der angebauten Genotypen und Sorten zu allen Anbauzeiträumen (2011-2013).....   | 29 |
| Abbildung 7: Lineare Regression des Blumengewichts [g] in Abhängigkeit vom Blattgewicht [g] der angebauten Genotypen und Sorten zu allen Anbauzeiträumen (2011-2013).....  | 30 |
| Abbildung 8: Lineare Regression des Blumengewichts [g] in Abhängigkeit von der Blattfläche [cm <sup>2</sup> ] der angebauten Genotypen und Sorten zu allen Anbauzeiträumen (2011-2013).....  | 30 |
| Abbildung 9: Lineare Regression von Blattfläche [cm <sup>2</sup> ] in Abhängigkeit vom Blattgewicht [g] der Brokkoli-Genotypen, die im Frühjahr und Herbst 2012 sowie im Frühjahr 2013 angebaut wurden. ....   | 31 |
| Abbildung 10: Mittleres Blumengewicht der Sorten / Genotypen, gemittelt über die drei Versuche (Herbst 2011, Frühjahr 2012, Herbst 2012). Gelb=samenfeste Sorte; rot=Hybridsorte; blau=samenfester Genotyp (dunkelblau=Christina Henatsch; hellblau=Christine Nagel; blau=Thomas Heinze); 1=Limba, 2=Miranda, 3=Batavia, 4=Marathon, 5=Monterey, 6=Ironman, 7=CHEGRE1, 8=THCANFK, 9=Belstar, 10=CHEATL1, 11=HECAL1, 12=CHGEB1, 13=CHELIM1, 14=CNPRI1, 15=CHEBAL1, 16=CHEMIC1, 17=THCANFS18, 18=CNCOA1, 19=RamosoCalabrese; Buchstabendarstellung gibt signifikante Unterschiede zwischen den Sorten / Genotypen wieder (LSD: Min. 41,5; Mittelwert 66,5; Max. 99,7); n=576. .... | 33 |
| Abbildung 11: Blumengewichte marktfähiger Blumen [g] der im Herbst 2011 angebauten Genotypen mit Standardfehler (Hybriden als Säulen mit Rautenmuster: 1=Batavia F1; 2=Belstar F1; 3=Marathon F1; 4=Monterey F1; 5=Ironman F1; Samenfeste Sorten als schwarze Säulen: 6=Miranda; 8=Limba; samenfeste Genotypen als Säulen mit Punkten 10=KSV-BRO-CHE-LIM; 11=KSV-BRO-CHE-GEB; 12=KSV-BRO-CHE-GRE; 16=KSV-BRO-TH-CAN-FK; 19=KSV-BRO-CHE-ATL; 20=KSV-BRO-CHE-CAL; 22=KSV-BRO-CN-PRI); Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen für p<0.05.....   | 35 |
| Abbildung 12: Blumengewichte marktfähiger Blumen [g] der im Frühjahr 2013 angebauten Genotypen mit Standardfehler (Hybriden als Säulen mit Rautenmuster: 1=Batavia F1; Samenfeste Sorte als schwarze Säule: 6=Miranda; samenfeste Genotypen als Säulen mit Punkten: 11=KSV-BRO-CHE-GEB 14=KSV-BRO-CHE-MIC blau; 15=KSV-BRO-CHE-MIC grau; 17=KSV-BRO-Calabrese spät; 18=KSV-BRO-TH-CAN-FS18). Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen für p<0.05.....  | 36 |
| Abbildung 13: Wasserlösliches antioxidatives Potential [ACW; in $\mu\text{mol g}^{-1} \text{TM}$ ] gemittelt über alle Genotypen an den Probenahmeterminen im Herbst 2011 (Säulen mit Rauten für Mitte September, Ende September und Anfang Oktober) und im Frühjahr 2012 (Säulen mit Punkten für Anfang, Mitte und Ende Juni); unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für p < 0,05 (ANOVA, F-Test). ....   | 44 |
| Abbildung 14: Lipidlösliches antioxidatives Potential [ALC; in $\mu\text{mol g}^{-1} \text{TM}$ ] gemittelt über alle Genotypen an den Probenahmeterminen im Herbst 2011 (Säulen mit Rauten für Mitte September, Ende September und Anfang Oktober) und im Frühjahr 2012 (Säulen mit Punkten für Anfang, Mitte und Ende Juni); unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für p < 0,05 (ANOVA, F-Test). ....  | 44 |
| Abbildung 15: Sortenlinie `Limba`. Gehalt an Glucoraphanin [ $\mu\text{mol g}^{-1} \text{TM}$ ] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Muttersorte `Limba` [8] und deren   |    |

- Nachkommenschaften `CHE-BAL` [9.1] und [9.2], sowie `CHE-LIM` [10.1]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ ..... 51
- Abbildung 16: Sortenlinie `Greenia`. Gehalt an Glucoraphanin [ $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Mutterlinie `CHE-GRE` [12.1], [12.2], [12.3] und deren Nachkommenschaften `CHE-MIC` [13.1], [13.2] und `CHE-MIC-blau` [14.1], sowie `CHE-MIC-grau` [15.1]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ ..... 51
- Abbildung 17: Sortenlinie `Calabrese`. Gehalt an Glucoraphanin [ $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Muttersorte `TH-CAN-FK` [13.1], [13.2], [13.3] und deren Nachkommenschaften `Calabrese-spät` [17.1] und `TH-CAN-FS18` [18.1], [18.2]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ . ..... 52
- Abbildung 18: Sortenlinie `Limba`. Gehalt an Glucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Muttersorte `Limba` [8] und deren Nachkommenschaften `CHE-BAL` [9.1] und [9.2], sowie `CHE-LIM` [10.1]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ ..... 54
- Abbildung 19: Sortenlinie `Greenia`. Gehalt an Glucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Mutterlinie `CHE-GRE` [12.1], [12.2], [12.3] und deren Nachkommenschaften `CHE-MIC` [13.1], [13.2] und `CHE-MIC-blau` [14.1], sowie `CHE-MIC-grau` [15.1]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ ..... 54
- Abbildung 20: Sortenlinie `Calabrese`. Gehalt an Glucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Muttersorte `TH-CAN-FK` [13.1], [13.2], [13.3] und deren Nachkommenschaften `Calabrese-spät` [17.1] und `TH-CAN-FS18` [18.1], [18.2]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ . ..... 55
- Abbildung 21: Sortenlinie `Limba`. Gehalt an 4-Methoxyglucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Muttersorte `Limba` [8] und deren Nachkommenschaften `CHE-BAL` [9.1] und [9.2], sowie `CHE-LIM` [10.1]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ .56
- Abbildung 22: Sortenlinie `Greenia`. Gehalt an 4-Methoxyglucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Mutterlinie `CHE-GRE` [12.1], [12.2], [12.3] und deren Nachkommenschaften `CHE-MIC` [13.1], [13.2] und `CHE-MIC-blau` [14.1], sowie `CHE-MIC-grau` [15.1]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ . ..... 57
- Abbildung 23: Sortenlinie `Calabrese`. Gehalt an 4-Methoxyglucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Muttersorte `TH-CAN-

FK`[13.1], [13.2], [13.3] und deren Nachkommenschaften `Calabrese-spät`[17.1] und `TH-CAN-FS18`[18.1], [18.2]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ .

|   |    |
|---|----|
| .....   | 58 |
| Abbildung 24: Sortenlinie `Limba`. Gehalt an 1-Methoxyglucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1}$ TM] der Referenzhybriden `Batavia F1`[1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Muttersorte `Limba`[8] und deren Nachkommenschaften `CHE-BAL`[9.1] und [9.2], sowie `CHE-LIM`[10.1]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich, $p < 0,05$ .  | 59 |
| Abbildung 25: Sortenlinie `Greenia`. Gehalt an 1-Methoxyglucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1}$ TM] der Referenzhybriden `Batavia F1`[1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Mutterlinie `CHE-GRE`[12.1], [12.2], [12.3] und deren Nachkommenschaften `CHE-MIC`[13.1], [13.2] und `CHE-MIC-blau` [14.1], sowie `CHE-MIC-grau`[15.1]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich, $p < 0,05$ . | 60 |
| Abbildung 26: Gehalt an 1-Methoxyglucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1}$ TM] der Referenzhybriden `Batavia F1`[1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Muttersorte `TH-CAN-FK`[13.1], [13.2], [13.3] und deren Nachkommenschaften `Calabrese-spät`[17.1] und `TH-CAN-FS18`[18.1], [18.2]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich, $p < 0,05$ .   | 61 |
| Abbildung 27: XY-Plot mit linearer Regression des Glucobrassicingehalts [ $\mu\text{mol g}^{-1}$ TM] und des Multiplex Index FER_RUV für Belstar F1 [2].  | 64 |
| Abbildung 28: XY-Plot mit linearer Regression des Glucobrassicingehalts [ $\mu\text{mol g}^{-1}$ TM] und des Multiplex Index FER_RUV für Genotyp `CN-COA` [21].   | 64 |
| Abbildung 29: Abb.XX: XY-Plot mit linearer Regression des 4-Methoxyglucobrassicingehalts [ $\mu\text{mol g}^{-1}$ TM] und des Multiplex Index FER_RUV für Genotyp `CHE-LIM` (10).   | 65 |
| Abbildung 30: XY-Plot mit linearer Regression des 4-Methoxyglucobrassicingehalts [ $\mu\text{mol g}^{-1}$ TM] und des Multiplex Index FER_RUV für Genotyp `CHE-CAL` (20).   | 65 |
| Abbildung 31: XY-Plot mit linearer Regression des 1-Methoxyglucobrassicingehalts [ $\mu\text{mol g}^{-1}$ TM] und des Multiplex Index FER_RUV für `Batavia F1`.   | 66 |
| Abbildung 32: XY-Plot mit linearer Regression des 1-Methoxyglucobrassicingehalts [ $\mu\text{mol g}^{-1}$ TM] und des Multiplex Index FER_RUV für die Hybride `Marathon F1` [3].  | 66 |
| Abbildung 33: XY-Plot mit linearer Regression des 1-Methoxyglucobrassicingehalts [ $\mu\text{mol g}^{-1}$ TM] und des Multiplex Index FER_RUV für Genotyp `CN-COA` [21].  | 67 |
| Abbildung 34: Stammbaum der Genotypen, deren Nachkommen im Projekt über mehrere Jahre angebaut wurden.  | 93 |

## Abkürzungsverzeichnis

|        |   |
|--------|---|
| ACW    | wasserlösliches antioxidatives Potential                                |
| ACL    | lipidlösliches antioxidatives Potential                                 |
| ANTH   | Anthocyan   |
| BGF    | blau grüner Wellenbereich   |
| BRR    | blau- rot Floureszenzverhältnis   |
| ca.    | zirka   |
| CMS    | Cytoplasmatische männliche Sterilität                                   |
| EPN    | Einzelpflanzenauslese und Prüfung der Einzelpflanzen-Nachkommenschaften |
| e.V.   | eingetragener Verein  |
| FER    | Floureszenz Exication Ratio   |
| FM     | Frischmasse   |
| FLAV   | Flavonoidindex  |
| FRF    | infraroter Wellenlängenbereich  |
| GBS    | Glucobrassicin  |
| GLS    | Glucosinolate   |
| GRP    | Glucopharanin   |
| HPLC   | Hochleistungsflüssigkeitschromatographie                                |
| IS     | internationaler Standard  |
| LCD    | liquid crystal display  |
| METH   | 4- Methoxyglucobrassicin  |
| nb     | nicht bestimmt  |
| NBI    | Nitrogen Balance Index  |
| NGB    | 1- Methoxybrassicin   |
| Nmin   | Gehalt des Bodens an verfügbarem Stickstoff                             |
| NIRS   | Nahinfrarotspektroskopie  |
| RF     | red-farred  |
| SD     | Secure Digital Memory Card  |
| StrdF  | Standardfehler  |
| TM     | Trockenmasse  |
| U/ min | Umdrehungen pro Minute  |
| Ü. NN  | über Normal Null  |
| UPOV   | Internationaler Verband zum Schutz von Pflanzenzüchtungen               |
| UV     | Ultra violett   |

## 1. Einführung

### 1.1 Gegenstand des Vorhabens

In den letzten Jahren hat das Verbraucherinteresse an Produkten aus ökologischer Erzeugung stetig zugenommen. Dabei stehen aus Sicht der Konsumenten vor allem zwei Aspekte im Vordergrund: Zum einen erwarten Verbraucher, dass ökologisch erzeugte Produkte gesünder als konventionelle Produkte sind, zum anderen sollen ökologische Produkte umweltschonender und unter Verzicht bestimmter Technologien (z.B. Gentechnik) produziert werden (Zanoli, 2004). Im Augenblick steht der ökologische Landbau aber auch häufig in der Kritik, da er diese Erwartungen nicht immer erfüllen kann. Hinsichtlich der Gesundheitswirkung von ökologisch erzeugten Produkten ist die Datenlage widersprüchlich (Smith-Spangler et al., 2012, Barański et al., 2014). Da die Gesundheitswirkung von Lebensmitteln nicht nur durch das Nichtvorhandensein von Schadstoffen (z.B. Pflanzenschutzmittel, Mykotoxine) sondern auch durch die Gehalte an gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen definiert wird, ergeben sich hier neue Ansätze beim Anbau ökologischer Produkte, insbesondere bei Obst und Gemüse. Die Gehalte an gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen sind nicht nur durch die Produktionsweise und durch Umweltbedingungen bedingt, sondern hängen auch sehr stark von der eingesetzten Sorte ab, so dass sich hier speziell für die Pflanzenzüchtung im ökologischen Landbau neue Möglichkeiten eröffnen, um Verbrauchererwartungen zu erfüllen und geeignete Produkte zu erzeugen.

Gerade die kritische Haltung des Öko-Sektors gegenüber einigen Techniken der konventionellen Pflanzenzüchtung z.B. der Einsatz von CMS-Hybriden besonders bei Gemüse hat den Ruf nach einer Pflanzenzüchtung speziell für den ökologischen Landbau verstärkt (BÖLW, 2013). Die Bioverbände haben mittlerweile den Einsatz von CMS-Hybriden als eine Form der Gentechnik verboten (Bioland e.V., 2014, Demeter e.V., 2010). Von den Öko-Züchtern werden dabei ausschließlich Züchtungsverfahren angewandt, die den Prinzipien des ökologischen Landbaus entsprechen. Im Zentrum stehen dabei offen abblühende Sorten, die mit Methoden der klassischen Pflanzenzüchtung (z.B. der Einzelpflanzenauslese) gezüchtet werden und die einen Nachbau des Saatguts erlauben. Die Auswahl von Genotypen und Linien findet dabei in der Regel in On-Farm-Züchtungsprozessen statt.

Durch die verstärkte Nachfrage nach gesunden Produkten könnte neben den traditionellen Zuchtzielen des ökologischen Landbaus wie Konkurrenzfähigkeit gegenüber Beikräutern, Resistenzen gegen Schadorganismen etc., der Gehalt an gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen an Bedeutung gewinnen. Die Qualität gesundheitsfördernder Lebensmittel definiert sich vorrangig über die enthaltenen Substanzen (sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe, Ballaststoffe und Substanzen in fermentierten Lebensmitteln), die jedoch in einem definierten Grenzbereich zwischen Lebensmittel und Arzneimittel angesiedelt sind (Watzl und Leitzmann, 1999; Schmidl und Labuza, 2000). Darüber hinaus schafft die Entwicklung entsprechender Sorten möglicherweise den

Zugang zu weiteren Märkte außerhalb des Öko- und Naturkost-Segments des Lebensmittelhandels.

## 1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

Übergeordnetes Ziel des Projektes war, aus bestehenden Zuchtpopulationen und Populationssorten von Brokkoli mit der (traditionellen) Methode der Einzelpflanzenselektion neue samenfeste Brokkolisorten (Populationssorten) zu entwickeln, die den Anforderungen des ökologischen Erwerbsgemüsebaus entsprechen. Dazu gehören Eigenschaften wie Ertrags-sicherheit, Einheit-lich-keit, enges Erntefenster, ausreichende Blumenfestigkeit, Geschmack sowie der Gehalt an sekundären, bioaktiven Inhaltsstoffen. Die Züchtungsfragen wurden in einem experimentellen Ansatz auf zwei biologisch-dynamisch bewirtschafteten Projektstandorten (Kultursaat e.V.) mit Direktvermarktung im Teilprojekt von Kultursaat bearbeitet.

Parallel dazu wurden in enger Zusammenarbeit mit der Versuchsstation für Ökologischen Landbau Kleinhohenheim (Universität Hohenheim) die agronomischen und sensorischen Eigenschaften der Sorten sowie der Gehalt an sekundären, bioaktiven Inhaltsstoffen untersucht. Durch den Einsatz innovativer Sensortechnologien (Multiplex, A-Force, Frankreich) sollte ein einfaches Praxistool entwickelt und kalibriert werden, welches den On-Farm-Züchtern in Echtzeit durch nicht-destruktive Messungen eine Bestimmung der Gehalte an bioaktiven Inhaltsstoffen auf dem Feld ermöglicht und damit den Selektionsprozess der geprüften Sorten entsprechend der gewünschten Zielgrößen optimiert und vereinfacht.

### 1.2.1 Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des BÖLN

Das Forschungsprojekt unterstützt die zentralen Ziele des Bundesprogramms zur Förderung des Ökologischen Landbaus und anderer Formen der nachhaltigen Landwirtschaft neue, leistungsstarke, traditionelle, samenfeste Brokkolisorten für den Gemüsebau zu züchten, die an die besonderen Anforderungen des Ökologischen Anbaus angepasst und keine CMS-Hybriden sind. Im Rahmen des Projektes selektierte und züchterisch bearbeitete Sorten sind ein Baustein zur Ausdehnung des Ökologischen Landbaus im Bereich Gemüsebau und erhöhen den Marktanteil ökologisch erzeugter Gemüseprodukte bei gleichzeitiger Sicherung der äußeren und inneren Qualität. Durch die gezielte Selektion von Brokkolisorten auf gesundheitsfördernde, sekundäre, bioaktive Inhaltsstoffe können die Verbrauchererwartungen an eine besondere Qualität ökologisch erzeugter Produkte erfüllt und neue, stark gesundheitsorientierte Verbrauchergruppen an den Konsum von Öko-Produkten herangeführt werden.

## 1.3 Planung und Ablauf des Projektes

Das Projekt wurde in einem Kooperationsverbund bestehend aus Kultursaat und der Universität Hohenheim durchgeführt. Auf diese Weise konnten Expertenwissen und Vorarbeiten im Bereich Züchtung, Arbeiten zu Inhaltsstoffen, Erfahrung in der praxis-

nahen technischen Umsetzung der zu entwickelnden Methoden, Einbeziehung langjähriger Versuchsergebnisse und Züchtungserfahrungen in das Projekt synergetisch für eine erfolgreiche Bearbeitung der Projektaufgaben eingebracht werden. Die Durchführung des Teilprojektes der Universität Hohenheim umfasste im Wesentlichen zwei Arbeitspakete. Arbeitspaket 1 beschäftigte sich hierbei mit den sensorischen Eigenschaften (z.B. Geschmack) von Brokkoli-Populationssorten sowie deren Potential zur Bildung sekundärer, bioaktiver Inhaltsstoffe im Vergleich zu gängigen Hybriden. Zielsetzung von Arbeitspaket 2 war die Entwicklung eines sensorgestützten Praxistools zur nicht-destruktiven, quantitativen Bestimmung sekundärer, bioaktiver Inhaltsstoffe im Rahmen der On-Farm-Züchtung und im Praxisanbau.

Um das Potenzial von Populationssorten bei Brokkoli hinsichtlich Geschmack/Aroma und Gehalt an sekundären, bioaktiven Inhaltsstoffen zu analysieren und in zukünftige Züchtungsprozesse einzubinden wurden im Rahmen des Projekts Glucosinolatgehalte in dem angebauten Sortenspektrum, nach der Methode von Krumbein et al. (2005) analysiert. Im Vordergrund der Analyse stehen dabei Vorkommen, Bildung und Anreicherungsmöglichkeiten von Verbindungen, deren Abbauprodukte unter anderem ein besonders hohes antikancerogenes Potential aufweisen, wie z.B. Sulforaphan. Im Rahmen laufender On-Farm-Züchtungsaktivitäten von Kultursaat e.V. wurden nach agronomischen Parametern (Ertragssicherheit, Einheitlichkeit, enges Erntefenster, Festigkeit der Blume) erste Brokkoli-Linien entwickelt, die im Rahmen des Projektes auf ihre Gehalte an bioaktiven sekundären Inhaltsstoffen getestet wurden. Diese Linien wurden im ersten Projektjahr an der Universität Hohenheim auf ihre Gehalte an oben genannten Inhaltsstoffen geprüft. Basierend auf diesen Ergebnissen erfolgten in den folgenden Projektjahren weitere Selektionen auf zwei On-Farm-Zuchtstandorten bei Kultursaat e.V., wodurch das zu untersuchende Spektrum an Linien modifiziert und ergänzt wurde. Hierbei fand eine enge Abstimmung zwischen den Projektpartnern statt.

In einem zweiten Schritt wurde neben den laboranalytischen Daten der Genusswert des verkaufsfähigen Endproduktes in die Selektion der Sorten einbezogen, um z.B. Sorten auszuschließen, die zwar einen hohen Anteil an bioaktiven Substanzen aufweisen, aufgrund ihrer Geschmacksfärbung dann aber vom Verbraucher abgelehnt werden. Hierzu wurden lebensmittelsensorische Prüfungen (hedonisch und analytisch) durchgeführt. Die Resultate der lebensmittelsensorischen Untersuchungen wurden anschließend auf signifikante Beziehungen zu den analytischen Daten (Glucosinolaten) überprüft. Die Ergebnisse wurden in die laufenden Züchtungs- und Selektionsarbeiten rückgespiegelt. Dabei wurden die Ergebnisse der Sensoriktests durch professionelle Panels mit den Ergebnissen der zielführenden Humansensorik der On-Farm-Züchter abgeglichen. Im Anbaujahr 2014 wurden schließlich diejenigen Linien/Genotypen, die sich als erfolgversprechend erwiesen, von Landwirten im kommerziellen Anbau erprobt und über Workshops die Neuzüchtungen interessierten Gruppen vorgestellt.

Im Rahmen des zweiten Arbeitspaktes wurde in gezielt angelegten Feldversuchen ein sensorgestütztes Praxistool für den Einsatz in der On-Farm-Züchtung entwickelt, um gesundheitsfördernde Inhaltsstoffe als wichtiges Selektionskriterien für alternative Züchtungsansätze nutzbar zu machen. Für die nicht-destruktive, schnelle Ermittlung von verschiedenen Pflanzeninhaltsstoffen wurde der in Frankreich entwickelte Multiplex® (A-Force) eingesetzt, der neben der Bestimmung der N-Versorgung auch die Möglichkeit bietet, verschiedene Inhaltsstoffe wie Flavonone, Anthocyane etc. nicht-destruktiv über die Ermittlung der Fluoreszenz der Pflanze in definierten Wellenlängenbereichen zu ermitteln. Im Projektjahr 2011-2013 wurde die Funktionsfähigkeit des Sensors an bestehenden Linien in den in Kleinhohenheim angelegten Feldversuchen getestet. Im Rahmen dieses Arbeitspaktes fand ein enger Austausch zwischen den On-farm-Züchtern und der Universität Hohenheim statt.

## 2. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Brokkoli (*Brassica oleracea* convar. *botrytis* var. *italica*) gilt durch den vergleichsweise hohen Anteil an Glucosinolaten als sehr gesunde Gemüseart mit dem Potenzial, das Risiko von Krebserkrankungen zu senken. Glucosinolate sind schwefelhaltige Moleküle, die im Sekundärstoffwechsel der Pflanze aus Aminosäuren gebildet werden. Sie kommen vorwiegend in Pflanzen der Familie *Brassicaceae* (Kohlgewächse) vor und sind in Senf, Kresse, Meerrettich sowie Kohlgemüsearten maßgeblich für deren typischen Geschmack.

Bereits seit 1960 sind für Abbauprodukte der Glucosinolate in tierexperimentellen Studien antikanzerogene Wirkungen nachgewiesen worden. Verschiedene Isothiocyanate und Thiocyanate zeigten eine hemmende Wirkung auf die Krebsentstehung in Speiseröhre, Magen, Brust, Leber und Lunge. Isothiocyanate konnten die Kanzerogenese sowohl im frühen als auch in einem späten Stadium beeinflussen. Des Weiteren wirkte Sulforaphan, ein Abbauprodukt des Glucosinolats Glucoraphanin, als indirektes Antioxidans. Es hemmte selektiv die Proliferation von humanen Dickdarmkrebszellen und induzierte in diesen Zellen einen Zellzyklusstopp sowie die Apoptose. In-vitro-Untersuchungen ergaben, dass Glucosinolate aus gekochtem Brassicagewürst auch in vitro antioxidativ wirksam sein können. Allerdings scheinen sortenspezifische Merkmale sowie die Art der Verarbeitung für die antioxidative Wirkung mitverantwortlich zu sein.

Glucosinolate machen bei einigen Brassica-Arten bis zu 1 % der Trockenmasse aus, allerdings treten große sortenbedingte Unterschiede auf. Insbesondere in älteren züchterisch wenig bearbeiteten Sorten kann der Glucosinolatgehalt den Gehalt von Neuzüchtungen um den Faktor 1.000 übersteigen. Ältere Populationssorten werden daher heutzutage genutzt, um den Gehalt an potenziell antikanzerogen wirkenden Glucosinolaten in Brokkolineuzüchtungen wieder zu erhöhen.

Neben den hohen Anteilen an Glucosinolaten verfügt Brokkoli über einen hohen Anteil pflanzlicher Carotenoide, die als wichtige Vorstufe zur Bildung des Vitamin A benötigt werden. Weiterhin schreibt man den enthaltenen Carotenoiden Lutein und Zeaxanthin eine gesundheitsfördernde Wirkung im Hinblick auf die Senkung des Krebsrisikos sowie die Senkung von kardiovaskulären Erkrankungen zu (Bradlow et al., 1999, Talalay und Zhang, 1996). Studien von Farnham und Kapsell (2009) und Dean et al. (2004) zeigten, dass die enthaltenen sekundären Inhaltsstoffe wie z.B. Lutein direkt mit den genetischen Eigenschaften der Brokkolisorten gekoppelt sind, während Umwelteinflüsse für die Bildung und Menge der sekundären Inhaltsstoffe eher eine untergeordnete Bedeutung hatten. Für die gezielte Selektion von Brokkolisorten unter den Anbaubedingungen des Ökologischen Landbaus eröffnet sich damit ein wichtiges Selektionskriterium, da besonders in älteren samenfesten Sorten ein erhöhtes Maß an sekundären, bioaktiven Inhaltsstoffen erwartet wird.

Bisher standen die Gehalte an gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen nicht im Zentrum der konventionellen Sortenentwicklung bei Brokkoli. Eine züchterische Bearbeitung von Brokkolisorten für den ökologischen Landbau fand bisher nicht statt. Im Augenblick werden in der Öko-Landbau-Praxis einige wenige traditionelle samenfeste Sorten eingesetzt, deren Marktfähigkeit jedoch aufgrund der fehlenden züchterischen Weiterentwicklung stark eingeschränkt ist. Daher haben selbst im ökologischen Anbau F1-Hybriden aus konventioneller Pflanzenzüchtung, die ohne Einsatz der CMS-Technik entwickelt wurden, den größten Marktanteil. Gegenwärtig werden diese Hybride immer mehr durch CMS-Hybride ersetzt, was die in den Bioverbänden organisierten Produzenten vor größere Probleme stellt. Daher besteht insbesondere im ökologischen Landbau ein großer Bedarf an neuen, samenfesten Sorten, die potentiell für jede weitere Anpassungszüchtung geeignet sind. Neben dem Gesichtspunkt Nachbaufähigkeit und somit unmittelbare Eignung zu On-Farm-Züchtung und -Erhaltung, was grundsätzlich für eine Populationssorte spricht, könnten Geschmack und Konsistenz der Populationssorten stimulierend für die Vermarktung sein. Nach bisherigen Erfahrungen weisen die bestehenden Populationssorten einen höheren Genusswert gegenüber den Hybriden auf, die oft als fest (hart) und „flach“ im Geschmack empfunden werden.

Neben den Gehalten an bioaktiven Inhaltsstoffen sind weiterhin auch die sensorischen Eigenschaften der Sorten unter Einbeziehung unterschiedlicher Kunden- bzw. Verbraucheranforderungen (Konsument, Handel, Verarbeitung) zu erfassen und im Selektionsprozess zu berücksichtigen. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass die selektierten Genotypen auf Akzeptanz bei Verbrauchern und Händlern stoßen. Die Ergebnisse der lebensmittelsensorischen Prüfungen wurden im Anschluss mit den chemischen und physikalischen Analysen wie z.B. Gehalt an bestimmten Inhaltsstoffen in Beziehung gesetzt und darauf aufbauend eventuelle Korrelationen und Kriterien (u.a. Gehalt und Zusammensetzung an Glucosinolaten, Zuckern und Säuren für einen guten „brokkolitypischen“ Geschmack und Farbe, Festigkeit der Blume) für den Selektions- und Züchtungsprozess abgeleitet.

Da die Analyse von bioaktiven, gesundheitsfördernden Substanzen bisher vor allem durch langwierige und kostspielige nasschemische Verfahren erfolgte, konnte eine Selektion auf diese Inhaltsstoffe aktuell in der On-Farm-Züchtungspraxis kostengünstig nicht realisiert werden. Für die erfolgreiche Einbindung in Sortenselektionsprozesse und damit in die On-Farm-Züchtung müssen diese bioaktiven Inhaltsstoffe daher mit einfachen, objektiven, reproduzierbaren und zerstörungsfreien Techniken zu bestimmen sein, wie z.B. Chlorophyllfluoreszenz, Gaswechsel oder Produktoberflächenfarbe (Huyskens-Keil et al., 1998; Schreiner et al., 2002).

Für die nicht-destruktive, schnelle Ermittlung von verschiedenen Pflanzeninhaltsstoffen stehen mittlerweile eine Reihe an unterschiedlichen optischen Sensorsystemen zur Verfügung, die im Sortenscreening und damit in der On-Farm-Züchtung als objektive, reproduzierbare und zerstörungsfreie Technik eingesetzt werden können. Für den Bereich der On-Farm-Züchtung von Brokkoli sind bislang jedoch noch keine Kalibrierungen seitens der Hersteller verfügbar, sondern müssen in Eichverfahren erst erstellt werden. Eigene Vorarbeiten am Institut für Kulturpflanzenwissenschaften der Universität Hohenheim zeigten, dass z.B. neue optische Sensorsysteme wie der Multiplex® (A-Force, Frankreich) zur nicht-destruktiven Bestimmung verschiedener Inhaltsstoffe bei Brokkoli während der Kultivierung auf dem Feld eingesetzt werden und damit genetisch bedingte Sortenunterschiede in schnellen, nicht-destruktiven Messverfahren auf dem Feld evaluiert werden können. Über ein entsprechendes sensorgestütztes Praxistool könnte das Selektionskriterium „Gehalt an gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen“ einfach in die On-Farm-Züchtung integriert werden, unabhängig von dynamischen Einflussgrößen, die während des Anbaus (Klima, Kulturmaßnahmen, Erntezeitpunkt etc.) und nach der Ernte (Lagertemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Gaszusammensetzung, Lagerdauer etc.) auftreten können. Die im Rahmen dieses Projektes gewonnenen Erfahrungen zum Einsatz eines sensorgestützten Praxistools in der On-Farm-Züchtung können in Zukunft für die Entwicklung von Populationssorten weiterer Kulturarten genutzt werden, um die On-Farm-Züchtung im Ökologischen Landbau kostengünstig zu optimieren und entsprechend den bestehenden Bedürfnissen und Notwendigkeiten auszubauen.

Basierend auf dem identifizierten Forschungsbedarf, war das übergeordnete **Ziel** des Projektes, aus bestehenden Zuchtpopulationen und Populationssorten von Brokkoli mit der (traditionellen) Methode der Einzelpflanzenselektion neue samenfeste Brokkolisorten (Populationssorten) zu entwickeln, die den Anforderungen des ökologischen Erwerbsgemüsebaus entsprechen. Dazu gehörten Eigenschaften wie Ertragsicherheit, Einheitlichkeit, enges Erntefenster, ausreichende Blumenfestigkeit, Geschmack sowie der Gehalt an sekundären, bioaktiven Inhaltsstoffen. Durch die Entwicklung eines in Echt-Zeit im Feld einsetzbaren Praxistools (Multiplex®, A-Force, Frankreich) sollte darüber hinaus ermöglicht werden, die Gehalte an gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen als weiteres Selektionskriterium in die On-Farm-Züchtung aufzunehmen. Die Züchtungsfragen wurden in einem experimentellen Ansatz auf zwei biologisch-dynamisch bewirtschafteten Projektstandorten (Kultursaat e.V.) mit Direktvermarktung bearbeitet. So war eine Selektion aus genügend großen Beständen

möglich und durch Integration der Züchtungsarbeit in den Erwerbsanbau der Informationsfluss von der Vermarktung zurück zu den Züchtern gewährleistet.

### 3. Material und Methoden

#### 3.1 Versuchsstandort

Die im Rahmen des Teilprojektes der Universität Hohenheim geplanten Versuche wurden in Kleinhohenheim, dem ökologisch bewirtschafteten Teil der Versuchsstation der Universität Hohenheim, Stuttgart, durchgeführt. Kleinhohenheim wird seit 1994 ökologisch bewirtschaftet und ist nach den Vorgaben der EU und der Anbauverbände Bioland e.V., Demeter e.V. und Naturland e.V. zertifiziert.

Der Versuchsstandort liegt auf 435 m ü. NN, die Jahresniederschläge betragen im zehnjährigen Mittel 700 mm. Abbildung 1 zeigt beispielhaft ein Klimadiagramm des Standortes für das Versuchsjahr 2012. Die Hauptbodentypen sind pseudovergleyte Parabraunerden, die Bodenart ist schluffiger Lehm, die Bodenzahl beträgt ca. 60 Bodenpunkte.

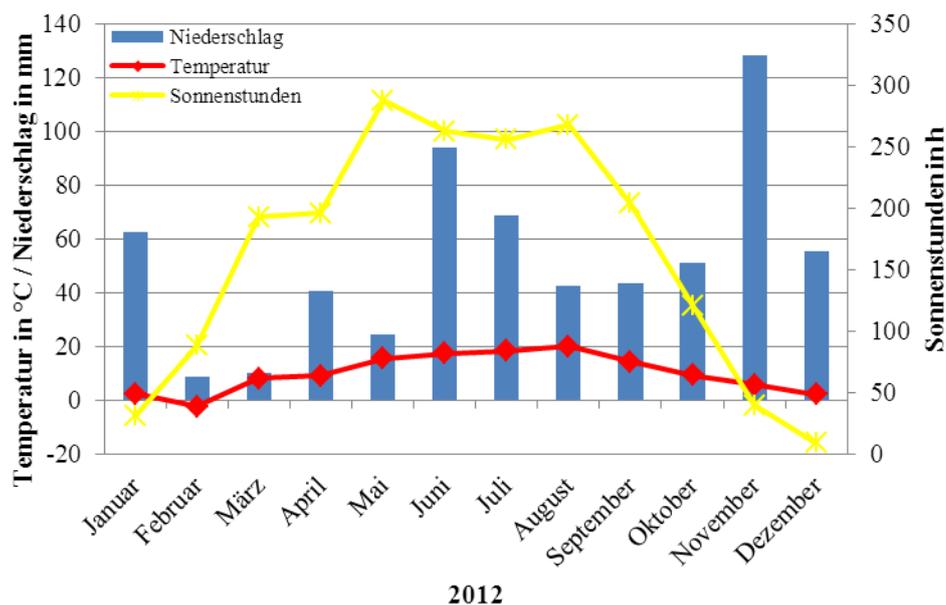


Abbildung 1: Klimadiagramm des Jahres 2012 mit monatlichen Mittelwerten der Temperaturen, gemessen in 2 m Höhe, des Niederschlags [mm] und der Sonnenstunden als Summe pro Monat.

#### 3.2 Versuchsanlage und Versuchsdurchführung

Die Feldversuche wurden als einfaktorielle, randomisierte Blockanlage in drei Wiederholungen mit dem Faktor ‚Genotyp‘ angelegt. Die Brokkoligenotypen wurden jeweils im Herbst- und Frühjahrssatz angebaut (Herbst 2011, Frühjahr 2012, Herbst 2012, Frühjahr 2013 und Herbst 2013). Die Parzellenbreite betrug 1,50 m, die Parzel-

lenlänge 10 m bzw. 15 m je nach Lage der Versuchsfläche. Der Pflanzabstand zwischen den Reihen war 0,38 m und in der Reihe 0,50 m (Abbildung 2).



**Abbildung 2: Brokkoli nach der Pflanzung im Herbst 2013.**

Um eine ausreichende Grundversorgung mit Stickstoff (N) zu gewährleisten, wurden die Versuche nach 1-jährigem Klee gras in die Fruchtfolge integriert. Nach Ermittlung der  $N_{\min}$ -Gehalte kurz vor Pflanzung wurde praxisüblich mit dem im ökologischen Landbau zugelassenen Dünger Bioilsa® (7 % N, 7 % P, 7 % K) auf 300 kg N ha<sup>-1</sup> aufgedüngt (Krug, 2002).

Die Jungpflanzenaufzucht erfolgte jeweils 4-8 Wochen vor dem geplanten Pflanztermin durch einen ökologisch zertifizierten Gemüsefachbetrieb. Die Jungpflanzen wurden zu allen Pflanzterminen mit einer Pflanzenhöhe von ca. 10 cm mit einer 3-reihigen Gemüsepflanzmaschine gepflanzt. Fehlstellen wurden direkt nach der Pflanzung und nochmals spätestens eine Woche später ausgeglichen.

Zur Beikrautbekämpfung wurden die Bestände zwei bis dreimal bis Bestandeschluss von Hand gehackt, da der Einsatz einer Maschinenhacke aufgrund von Pflanzenverlusten nicht möglich war.

Die Schädlingskontrolle (v.a. gegen Erdflöhearten (*Phyllotreta spec.*), Kohldrehherzmücke (*Contarinia nasturtii*) sowie die Raupen der Kohleule (*Mamestra brassicae*) und des Großen und Kleinen Kohlweißlings (*Pieris brassicae* und *Pieris rapae*) wurde mit Hilfe eines Kulturschutznetzes (Maschenweite 0,08 x 0,08 mm) durchgeführt. Nach dem Erscheinen der Blumen wurde das Netz abgenommen, um den Hitzestress für die Pflanzen zu minimieren und den Effekt der mechanischen Verletzungen durch das wöchentliche Auf- und Abdecken des Netzes für die Probenahme zu vermeiden.

### 3.3 Genotypen und Sorten

Die getesteten Genotypen von Kultursaat e.V. wurden mit dem Züchtungsverfahren der Einzelpflanzenauslese und Prüfung der Einzelpflanzen-Nachkommenschaften (EPN) selektiert. Bei diesem Züchtungsverfahren erfolgt eine strengere Selektion als bei der positiven Massenauslese, da Supereliten selektiert und separat geerntet werden. Eliten und Supereliten einer Linie blühen zwar genau wie bei der positiven Massenauslese gemeinsam ab und werden somit von derselben Pollenwolke bestäubt, man geht bei diesem Ansatz jedoch davon aus, dass die gewünschten Merkmale im mütterlichen Erbgut verankert sind, welches die Superelite als Mutterpflanze an alle ihre Nachkommen weitergibt (Abbildung 3; Fleck et al., 2013). Das in den Feldversuchen an der Universität Hohenheim eingesetzte Saatgut war Poolsaatgut dieser einzelnen Kultursaat-Zuchtlinien. Die offen abblühenden Populationssorten Atlanta, Calabrese Natalino, Geba, Greenia, Limba, Coastel und Primo, die teilweise noch im Handel zu finden sind, wurden von den On-farm-Züchtern als Ausgangsmaterial für die neuen Linien eingesetzt. Im Rahmen des Projekts wurden eine Linie mit drei unterschiedlichen Genotypen des Züchters Thomas Heinze, fünf Linien mit insgesamt zehn Genotypen der Züchterin Christina Henatsch und zwei Linien mit jeweils einem Genotyp der Züchterin Christine Nagel verwendet. Einige Genotypen wurden nur einjährig angebaut, bei anderen hingegen wurden mehrere Sublinien in den Versuchen, zum Teil auch über mehrere Generationen angebaut (Tabelle 25).

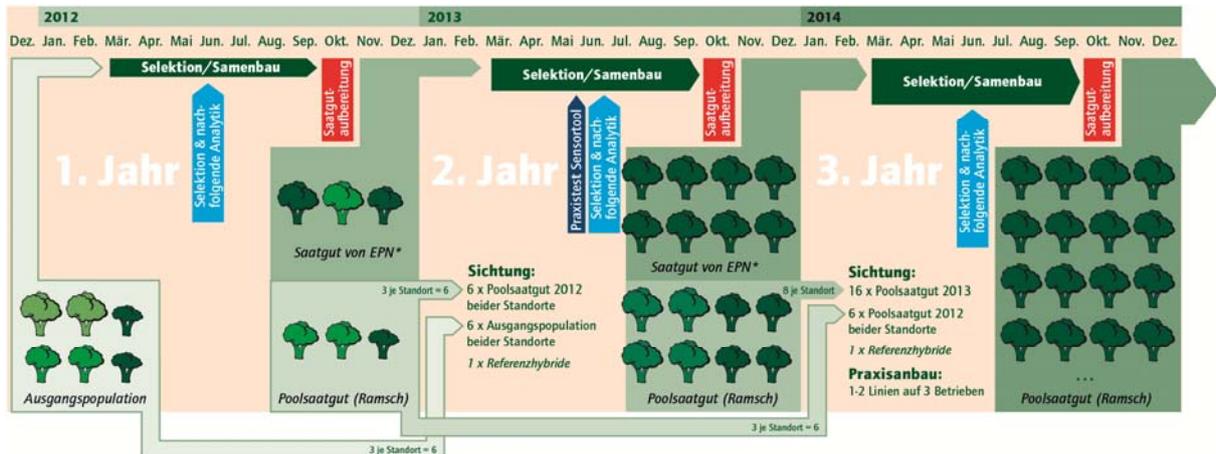


Abbildung 3: Zuchtschema der Brokkolilinienvon Kultursaat e.V.

Um die Eignung der offen abblühenden Linien von Kultursaat e.V. für den Praxisanbau zu testen und das Inhaltsstoffspektrum zu erfassen, wurden offen abblühende Sorten (Miranda, Ramoso, Limba) die im Handel erhältlich sind, sowie im Ökologischen Landbau häufig eingesetzte Hybridsorten (Batavia, Belstar, Marathon, Monterey) und eine CMS-Hybridsorte (Ironman) in die Versuche integriert.

### 3.4 Sensormessungen

Die Sensormessungen erfolgten mit dem Sensor Multiplex®. Der Multiplex® (FORCE-A, Frankreich) ist ein tragbarer optisch arbeitender Multiparametersensor, der es dem Anwender ermöglicht, direkt auf dem Feld Messungen vorzunehmen. Er arbeitet nicht-destruktiv, so dass mehrfach Messwerte von einer Pflanze während der Vegetationszeit generiert werden können. Dies ermöglicht ein Monitoring der Pflanzen über den gesamten Anbauzeitraum.

Das Messprinzip des Sensors basiert auf der Fluoreszenztechnologie mit multiplen Erregungen in den Wellenlängenbereichen UV (375 nm), rot (630 nm) und grün (530 nm) (Tremblay et al., 2011). Die entstehende Fluoreszenz wird durch drei Silikon-Photodioden in den Wellenlängenbereichen blau-grün (BGF) (447 nm), rot (RF) (665 nm) und infrarot (FRF) (735 nm) gemessen. Auf diese Weise können zum Beispiel der Anthocyanengehalt, der Flavonolgehalt, der Chlorophyllgehalt (UV-angeregte Blau-Grün Fluoreszenz (BGF)), sowie einige andere Fluoreszenzparameter (SFRG, SFR-R, FERARI) welche als Indikatoren des pflanzenphysiologischen Status identifiziert wurden (Zhang und Tremblay, 2010) erfasst werden. Durch die Kombination der Erregungs- und Fluoreszenzsignale, werden Fluoreszenzverhältnisse berechnet, die weiterhin Auskunft über den Chlorophyll- und Polyphenolgehalt und die Stickstoffversorgung der Pflanze geben (Lejealle et al., 2010). Der Multiplex ist unempfindlich gegenüber gegebenen Lichtverhältnissen, was Messungen zu jeder Tageszeit ermöglicht (Force-A, 2010). Eine Messung dauert hierbei weniger als eine Sekunde und die gemessenen Daten werden auf einem LCD-Display angezeigt und auf einer SD-Karte gespeichert (Force-A, 2010). Tabelle 1 stellt mögliche für die Bestimmung gesundheitsfördernder Inhaltsstoffe in Brokkoli relevante Indizes dar. Dabei wird der Polyphenolstatus durch den Flavonolindex FLAV, der den Gehalt an Flavonolen beschreibt und durch den Anthocyanindex ANTH, der den Gehalt an Anthocyanen wiedergibt, erfasst (Force-A, 2010).

Zur Bestimmung des Polyphenolstatus wird die Chlorophyll Fluoreszenz im langwelligen rot Bereich unter Anregung mit rotem Licht, das von den Polyphenolen nicht absorbiert wird, gemessen. Außerdem wird die Fluoreszenz im langwelligen rot Bereich unter Anregung mit grün für Anthocyane (Agati et al., 2007), UV für Flavonole (Cerovic et al., 2002) detektiert. Somit erreicht nur ein Teil des Lichts das Chlorophyll im Mesophyll und es wird eine andere Fluoreszenzintensität im langwelligen rot Bereich hervorgerufen. Durch einen Vergleich der zwei unterschiedlichen Fluoreszenzintensitäten kann der Gehalt der zu detektierenden Substanz in der Epidermis bestimmt werden (Cerovic et al., 2002; Force-A, 2010). Die Stickstoffversorgung die in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Gehalt an Glucosinolaten gesehen wird, wird durch den NBI (Nitrogen Balance Index) beschrieben (Force-A, 2010). NBI wird durch den Quotient von Chlorophyll- zu Flavonolgehalt (SFR/FLAV) wiedergegeben und ist ein Indikator für den Stickstoffgehalt der Pflanze. Der Index basiert auf dem Gleichgewicht zwischen primärem und sekundärem Metabolismus der Pflanze. Unter optimalen Bedingungen wird der Primärmetabolismus begünstigt, bei dem eine verstärkte Chlorophyllsynthese stattfindet. Unter Stickstoffmangel verändert sich der

Metabolismus in Richtung erhöhter Flavonolproduktion (Sekundärmetabolismus) (Cartelat et al., 2005).

**Tabelle 1: Multiplex-Ratios**

| Ratio   | Beschreibung  | Formel                 |
|---------|---|------------------------|
| SFR_G   | einfaches Fluoreszenzverhältnis (Simple Fluorescence Ratio)     | $FRF\_G / RF\_G$       |
| SFR_R   | einfaches Fluoreszenzverhältnis (Simple Fluorescence Ratio)     | $FRF\_R / RF\_R$       |
| BRR_FRF | blau-rot Fluoreszenzverhältnis (Blue-to-Red Fluorescence Ratio) | $BGF\_UV / FRF\_UV$    |
| FER_RU  |   |                        |
| V       | Fluoreszenz Anregungsverhältnis (Fluorescence Excitation Ratio) | $FRF\_R / FRF\_UV$     |
| FLAV    | Flavonole   | $\text{Log}(FER\_RUV)$ |
| FER_RG  | Fluoreszenz Anregungsverhältnis (Fluorescence Excitation Ratio) | $FRF\_R / FRF\_G$      |
| ANTH    | Anthocyane  | $\text{Log}(FER\_RG)$  |
| NBI_G   | Nitrogen Balance Index  | $FRF\_UV / RF\_G$      |
| NBI_R   | Nitrogen Balance Index  | $FRF\_UV / RF\_R$      |

Zwei Wochen nach Pflanzung wurden im wöchentlichen Abstand bis zur Ernte Messungen mit dem Multiplex durchgeführt. Für die Messung wurde jeweils das jüngste vollentwickelte Blatt, bzw. ab dem Vorhandensein der Blume mit einem Durchmesser > 2.5 cm die Blumen gemessen.

### 3.5 Probenahme des Pflanzenmaterials

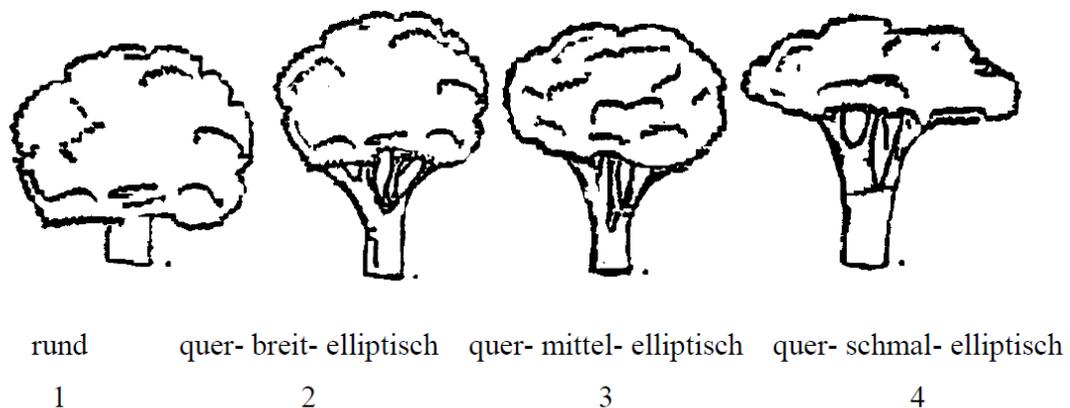
Sobald die Blumen als marktfähig eingestuft wurden (Blumendurchmesser > 7 cm), wurden diese nach der Messung mit dem Multiplex® Sensor geerntet, in Plastiksäcke verpackt und gekühlt ins Labor transportiert. Im Labor wurden die agronomischen Parameter bestimmt. Anschließend wurden Teile der Blume in flüssigem Stickstoff schockgefrostet, bei -18 °C eingefroren und anschließend mindestens fünf Tage gefriergetrocknet. Dann wurde das Trockengewicht bestimmt. Schließlich erfolgte die Vermahlung mithilfe einer Mühle des Modells ZM 200 der Firma Retsch® auf eine Partikelgröße von 0,75 mm. Diese Proben wurden für die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) zur Glucosinolanalyse und für die Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) zur Identifizierung einzelner Glucosinolate (GLS) weiterverwendet.

### 3.6 Bestimmung der agronomischen Parameter

Auf Basis der Richtlinien des Internationalen Verbands zum Schutz von Pflanzenzüchtungen (UPOV, 2006) und den Vorgaben von Kultursaat e.V. (Fleck 2011, mündliche und schriftliche Mitteilung) wurden folgende pflanzenmorphologischen Merkmale zur Charakterisierung der Brokkoli-Genotypen im Hinblick auf die Marktfähigkeit der Blume herangezogen:

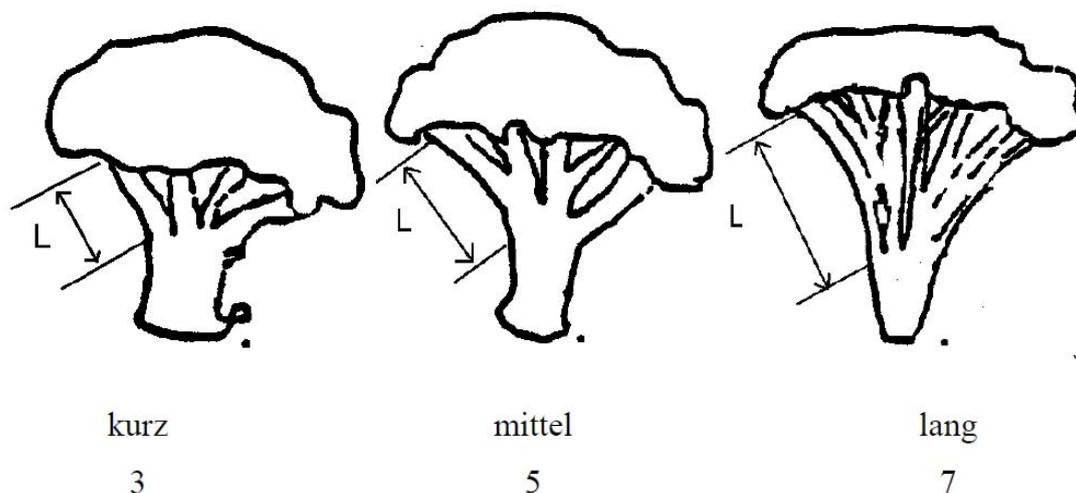
- Gewicht
- Durchmesser
- Festigkeit
- Form
- Verzweigung
- Körnung der Knospen
- Farbe

Die Bestimmung der Farbe erfolgte mittels Einordnung in die Kategorien grün, grau-grün und blaugrün. Die Festigkeit wurde in Abänderung zu UPOV (2006) durch eine Einteilung in locker, mittel und fest wiedergegeben, wobei die Zahl 1 für die geringste Festigkeit stand. Die Form wurde durch vier verschiedene Modelle beschrieben, die in der Abbildung 4 dargestellt sind. Zur Erleichterung wurden die Modelle mit Zahlen versehen.



**Abbildung 4: Einteilung der verschiedenen Blumenkopfformen in die verwendete Boniturskala.**

Die Bestimmung der Verzweigungslänge an der Basis des Kopfs wurde anhand der in Abbildung 5 illustrierten Zeichnungen durchgeführt.



**Abbildung 5: Einteilung der verschiedenen Verzweigungsformen in die verwendete Boniturskala.**

Darüber hinaus wurden das Gesamtpflanzengewicht, der Gesamtertrag, der markfähige Ertrag, der Aberntegrad und die Blattmasse erhoben.

### **3.7 Analytische Bestimmung der Glucosinolate**

#### **3.7.1 Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC)**

Zur Analyse der GLS wurde ein Verfahren angewendet, bei dem mittels HPLC die Gehalte der verschiedenen GLS bestimmt werden können. Das Prinzip der HPLC Analyse beruht auf der Europäischen Norm zur Glucosinolanalyse DIN EN ISO 9167-1 zur Bestimmung des GLS-Gehalts in Rapssamen. Die Anpassung der Methode zur Analyse von GLS in Brokkoli wurden unter Einbezug der Methoden nach Vallejo et al. (2002) und Heaney (1986) modifiziert. Zunächst erfolgten die Extraktion der GLS mit Methanol, danach Reinigung und Desulfatisierung mit Ionenaustauscherharzen und daran anschließend die spezifische Bestimmung der Einzelglucosinolate (Glucoiberin, Glucoprogoitrin, Glucoraphanin, Glucobrassicin, 4-Methoxyglucobrassicin, 1-Methoxyglucobrassicin) mittels HPLC (Tabelle 2).

In die Zentrifugenröhrchen wurden pro Untersuchungsprobe 300 mg vorbereitetes Probenmaterial eingewogen. Die Zentrifugenröhrchen wurden mit einer Murmel verschlossen und in ein Becherglas, das mit Papier ausgestopft ist, senkrecht hineingestellt. Das Becherglas wurde in einer Halterung des Wasserbads, das auf 75°C vorgeheizt wurde, fixiert. Ohne Schütteln wurden die Zentrifugenröhrchen mit der Probe bei 75 °C Wassertemperatur ca. 5 min erwärmt. Die Zentrifugenröhrchen wurden einzeln entnommen. Es wurden pro Probe 2 ml Methanol mithilfe der Dispensette hinzugegeben. Danach wurde mit dem Vortex kurz geschüttelt und sofort darauf wurde der interne Standard (200 µl pro Probe) auf das Probenmaterial pipettiert. Anschließend nochmal vortexen. Die Zentrifugenröhrchen wurden erneut mit einer Murmel verschlossen und für 10min im Wasserbad unter Schütteln (Kippschalter von 0 auf I) erwärmt. Dann wurden die Zentrifugenröhrchen erneut mit dem Vortex geschüttelt und in der Zentrifuge bei 4800 U/min für 10 min bei Raumtemperatur zentrifugiert. Nach dem Zentrifugieren wurde der Überstand in einen zuvor beschrifteten Messkolben dekantiert.

Der Rückstand wurde erneut in 2 ml Methanol gelöst und mit dem Vortex geschüttelt. Die Zentrifugenröhrchen wurden anschließend wiederrum mit einer Murmel verschlossen und erneut für 10 min bei 75 °C unter Schütteln erwärmt und erneut mit den gleichen Einstellungen zentrifugiert. Die Überstände aus den gleichen Zentrifugenröhrchen wurden zusammengeführt und vermischt. Mit bidestilliertem Wasser wurde der Extrakt auf ein Volumen von 5 ml aufgefüllt.

**Tabelle 2: Übersicht der analysierten Glucosinolate und deren Retentionszeiten; IS=Interner Standard.**

| <b>Nr.</b> | <b>Retentionszeit<br/>min</b> | <b>Glucosinolat</b>     |
|------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1          | 9,12                          | Gluciberin              |
| 2          | 9,92                          | Glucoprogoitrin         |
| 3          | 17,15                         | Glucoraphanin           |
| 4          | 49,00                         | Glucobrassicin          |
| 5          | 51,68                         | 4-Methoxyglucobrassicin |
| 6          | 56,77                         | 1-Methoxyglucobrassicin |
| IS         | 44,49                         | Glucotropaeolin         |

### 3.7.2 Nahinfrarotspektroskopie (NIRS)

Von den gefriergetrockneten und auf 1 mm vermahlenden Pflanzenproben wurden 2,5 bis 3 mg Probenmaterial in eine Küvette gefüllt. Mit NIRS 5000 der Firma ISI wurde von jeder Probe ein individuelles Spektrum im Wellenlängenbereich von 1100–2500 nm erfasst. Aufgrund der Spektrum Analyse wurden die Proben in verschiedenen Gruppen zusammengefasst und eine bestimmte Probenanzahl (ca. 20 % der NIRS Proben) für die HPLC Analyse der GLS ausgewählt. Anhand dieser Proben erfolgte eine Kalibration und Validation der verschiedenen GLS. Validation und Kalibration wurde mit der Software WIN ISI™ vorgenommen.

### 3.8 Antioxidatives Potenzial

Das antioxidative Potential wurde mit Hilfe einer enzymatischen Analyse auf Basis von Photochemolumineszenz (Photochem; Jena Analytik®) ermittelt, bei der die Proben sowohl auf lipid- als auch auf wasserlösliche Antioxidantien untersucht wurden. Das Messprinzip beruht auf einer optischen Anregung einer photosensitiven Substanz, die eine Bildung von Superoxidradikalen auslöst. Diese Radikale reagieren mit den Antioxidantien der Probenlösung und werden dadurch zu einem bestimmten Teil eliminiert. Die verbliebenen Radikale werden mit Hilfe einer Detektorsubstanz, die die Lumineszenz in der Messküvette verursacht, gemessen.

Die Kalibration zur Messung des wasserlöslichen antioxidativen Potentials (ACW) erfolgte mit Ascorbinsäure, die Kalibration des lipidlöslichen antioxidativen Potentials (ACL) erfolgte mit der wasserlöslichen Form des Vitamin E (6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-Carboxyl-Säure). Die Extraktion der Antioxidantien aus den auf 1 mm gemahlenden Pflanzenproben erfolgte mit Wasser bzw. Methanol.

### 3.9 Humansensorische Verkostungen

Die humansensorischen Verkostungen wurden am Max-Rubner-Institut, Karlsruhe mit einem geschulten Panel durchgeführt während an der Universität Hohenheim hedonische Analysen mit einem Konsumentenpanel stattfanden. Die Teilnehmer des geschulten Panel trafen sich einige Wochen vor dem Termin der Verkostung, um mögliche Geschmacksrichtungen zu erörtern, mit den zu verkostenden Proben vertraut zu werden und die Ausprägung der Geschmacksrichtungen kennenzulernen und Geschmackskriterien (nussig, süß, bitter, fremdartig etc.) festzulegen. Die Verkostung erfolgte an gekochten Proben.

Die Verkostungen an der Universität Hohenheim fanden in den Jahren 2012 und 2013 statt. Insgesamt wurden vier Verkostungen durchgeführt. Das Konsumentenpanel verkostete Brokkoliprobe verschiedener Sorten und Genotypen in rohem und gekochtem Zustand. Pro Sorte / Genotyp wurden vier Blumen am selben Tag geerntet und bis zu Verkostungsbeginn gekühlt aufbewahrt. Die Blumen wurden jeweils halbiert und eine Hälfte der Blume in rohem Zustand kleingeschnitten und auf Teller verteilt. Die andere Hälfte der Brokkoliblume wurde 3 Min. in sprudelnd kochendem Wasser gekocht. Für jede Sorte / Genotyp wurde ein separater Topf verwendet oder das Wasser vor dem nächsten Kochvorgang gewechselt. Die gekochten Blumen wurden nach dem Kochvorgang in mundgerechte Stücke von 2-3 cm Länge zerteilt. Zuerst wurden alle Genotypen / Sorten gekocht verkostet und danach in rohem Zustand.

Die Brokkoliprobe wurden den Probanden jeweils auf separaten Tellern angeboten. Dabei saßen die Probanden in einem abgedunkelten Raum, um Farbunterschiede zwischen den Proben weit möglichst zu eliminieren. Die Ergebnisse der Verkostung jeder einzelnen Probe wurden von den Probanden auf einen eigenen, vorher ausgeteilten Fragebogen dokumentiert. Um den Effekt der Reihenfolge der Proben statistisch herauszuarbeiten, wurden die Probanden in zwei Gruppen unterteilt. Diese erhielten die Sorten / Genotypen in unterschiedlicher Reihenfolge.

### 3.10 Statistik

Die Datenauswertung erfolgte mit SAS 9.3. (SAS Institute, Cary, USA). Zur Ermittlung der agronomischen, sensorischen und inhaltsstofflichen Parameter wurden Varianzanalysen (ANOVA) durchgeführt. Dabei wurde der Genotyp, die Probenahme und die Interaktion Jahr\*Block als fester Effekt und die Interaktion Block\*Genotyp\*Jahr als variabler Effekt gewählt.

Die Auswertung der Blockanlage wurde nach folgendem Modell durchgeführt:

$$y_{ijh} = \mu + b_j + c_h + \tau_i + e_{ijh}$$

$$(i, j, h = 1, \dots, t)$$

$y_{ijh}$  = Beobachtung der  $i$ -ten Behandlung in der  $j$ -ten Zeile und der  $h$ -ten Spalte

$\mu$  = Gesamteffekt

$j$  = Effekt der  $j$ -ten Zeile

$ch$  = Effekt der  $h$ -ten Spalte

$i$  = Effekt der  $i$ -ten Behandlung

$e_{ijh}$  = Fehler der Beobachtung  $y_{ijh}$

Die Mittelwertvergleiche wurden über die Betrachtung des Erwartungswerts der Beobachtungen

$$E = ijh = \mu + j + ch + i$$

für unbalancierte Daten berechnet.

Die adjustierten Mittelwerte sind Kleinstquadratschätzungen der vorhergehenden Funktion. Zur Auswertung der Multiplex-Messungen wurden Regressionsanalysen mit Excel durchgeführt.

## 4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse einschließlich Diskussion

### 4.1 Agronomische Eigenschaften der Genotypen

Die Erfassung verschiedener agronomischer Parameter diente zum einen der Bewertung verschiedener Merkmale, die in der On-Farm-Züchtung von Brokkoli eine Rolle spielen, zum anderen wurden anhand dieser Merkmale die zu untersuchenden Genotypen mit aktuell im Praxisanbau eingesetzten Hybriden und samenfesten Sorten verglichen. Um auf dem Markt bestehen zu können, müssen Sorten aus der ökologischen Züchtung zumindest teilweise den gängigen, marktfähigen Sorten entsprechen um optische und haptische Kundenwünsche zu erfüllen. Ein hoher Gehalt an gesundheitsfördernden, bioaktiven Wirkstoffen allein reicht nicht aus, um eine Sorte zu vermarkten, wenn die agronomischen Eigenschaften nicht den Bedürfnissen des Handels und denen der Kunden entsprechen. Da die samenfesten Sorten, die als Eltern für die angebauten Genotypen dienten, in den letzten Jahren kaum züchterisch bearbeitet wurden, ist davon auszugehen, dass die geprüften Genotypen neben erwünschten Eigenschaften auch solche aufweisen, die die Marktfähigkeit der Erzeugnisse verringern. Im Folgenden werden die im Rahmen des Projektes nach UPOV (2006) erhobenen agronomischen Eigenschaften der getesteten Brokkolisorten aufgezeigt und diskutiert.

#### 4.1.1 Gesamtpflanzengewicht, spezifisches Blattgewicht und Blattfläche

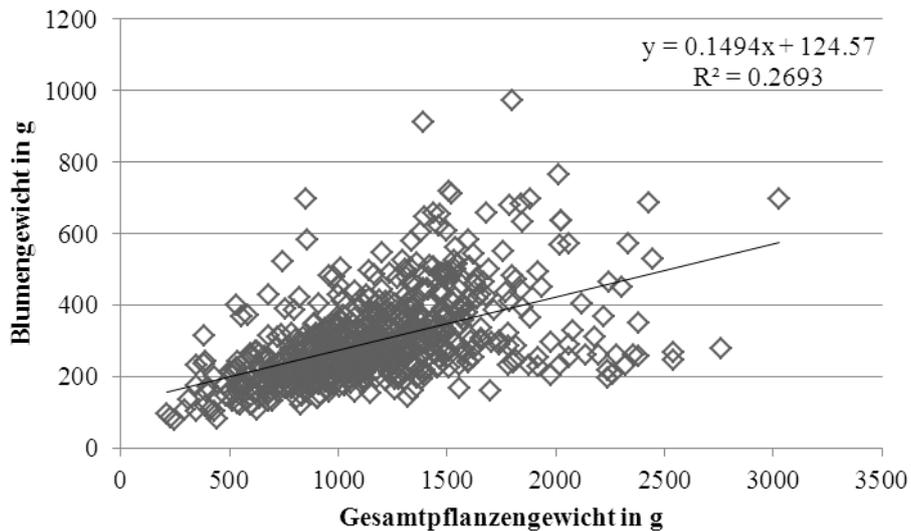
Das Gesamtpflanzengewicht beinhaltet das Gewicht der Blätter, des Strunks und der Blume. Für die Varianzanalyse wurden die Gesamtpflanzengewichte der marktfähigen Blumen genutzt. Sowohl die genotypischen Unterschiede als auch die Effekte der Probenahme und des Anbauzeitraums in Kombination mit dem Blockeffekt hatten einen hoch signifikanten Einfluss auf das Gesamtpflanzengewicht (Tabelle 3).

**Tabelle 3: Ergebnisse der ANOVA des Gesamtpflanzengewichts (F-Test mit den festen Effekten Probenahme, Genotyp und der Interaktion Block\*Anbauzeitraum; Pr > F gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit für  $\alpha = 0,05$  an).**

| Feste Effekte       | F-Statistik | Pr > F   |
|---------------------|-------------|----------|
| Probenahme          | 8,61        | < 0,0001 |
| Genotyp             | 6,61        | < 0,0001 |
| Block*Anbauzeitraum | 9,67        | < 0,0001 |

Die Hybride `Marathon F1` hatte mit 1616 g das höchste Gesamtpflanzengewicht, gefolgt von `Belstar F1` mit 1420 g. Die niedrigsten Gewichte zwischen 847 g und 937 g hatten die samenfesten Sorten `Miranda` und `Limba`, und die samenfesten Genotypen `CHE-GEB`, `CHE-MIC-blau` und `Calabrese-spät`. Alle Hybridsorten erreichten ein Gewicht von durchschnittlich 1200 g aber auch einige der samenfesten Genotypen (`CHE-BAL`, `CHE-LIM`, `CHE-GRE`, `CHE-MIC` und `CHE-ATL`) erbrachten

ähnliche Gewichte (Tabelle 4). Die erzielten Gesamtpflanzengewichte lagen im vergleichbaren Bereich mit anderen Studien (Jett et al., 2005), Allerdings können vom Gesamtgewicht der Pflanze keine direkten Rückschlüsse auf das Blumengewicht getroffen werden, da der Zusammenhang zwischen Gesamtpflanzengewicht und Blumengewicht nur schwach ausgeprägt ( $R^2 = 0,27$ ) war (Abbildung 6).



**Abbildung 6: Lineare Regression des Blumengewichts [g] in Abhängigkeit vom Gesamtpflanzengewicht [g] der angebauten Genotypen und Sorten zu allen Anbauzeiträumen (2011-2013).**

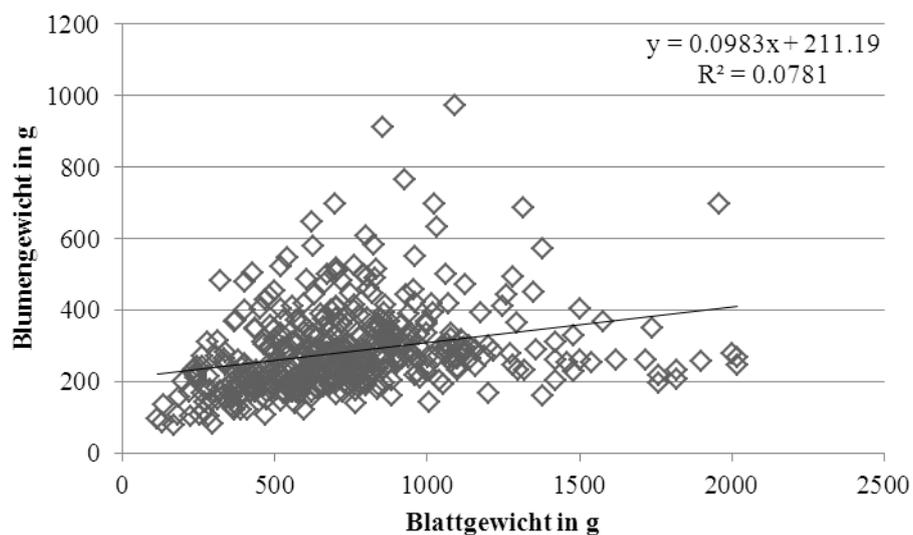
Einige Pflanzen erreichten bei niedrigen Gesamtpflanzengewichten von ca. 500 g bereits Blumengewichte über 200 g, wohingegen andere Pflanzen mit mehr als 2000 g Gesamtgewicht lediglich einem Blumengewicht von 200 g hatten. Dies deckt sich mit den Ergebnissen von Veh et al. (2013), die trotz signifikant höheren Gesamtpflanzengewichten keine signifikanten Unterschiede im Blumengewicht in einem Düngerversuch erzielen konnten. .

Neben den genotypischen Einflüssen spielen hier auch wetterbedingte sortenspezifische Reaktionen eine Rolle. So konnte beispielsweise im Herbst 2012 eine stark ausgeprägte Ausbildung der vegetativen Pflanzenorgane beobachtet werden, die auf die kühlen Temperaturen und somit die längere Dauer bis zur Erreichung der Temperatursumme, die zur Blumenbildung benötigt wird, zurückgeführt werden kann (Dufault, 1997). Im Feld war ebenfalls zu beobachten, dass zwar einzelne Pflanzen mit einem geringen Gewicht eine vom Durchmesser gesehen marktfähige Blume aufwiesen, diese aber recht locker war und ein geringes Blumengewicht hatte. Ähnliche Minderungen in der Qualität von Brokkoliblumen (Farbe, Dichte der Blume, Blumenform) bei niedrigen Temperaturen in Abhängigkeit vom Genotyp wurden von Dufault (1997) beobachtet.

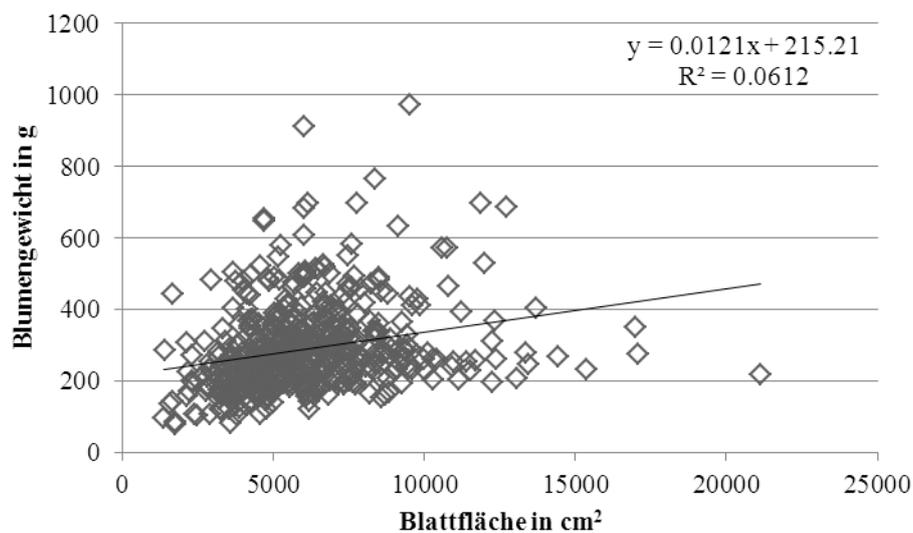
Für den Anbau unter ökologischen Bedingungen erscheinen das Blattgewicht und die Blattfläche ebenfalls von Bedeutung, da die ideale Brokkoli-Pflanze einerseits genügend Blattmasse bilden sollte, um Beikraut zu unterdrücken, andererseits aber das vegetative Wachstum nicht zu stark ausgeprägt sein sollte, da im ökologischen Landbau die N-Verfügbarkeit eingeschränkt ist. So könnten einerseits Wuchstypen,

die mit wenig Blattmasse eine marktfähige Blume ausbilden, günstig sein, da solche Genotypen die im ökologischen Landbau eingeschränkt verfügbaren Nährstoffe, insbesondere N, vorzugsweise für die Bildung der Blume nutzen. Allerdings können Genotypen mit geringerer Blattfläche Beikraut weniger stark unterdrücken. Pflanzen, die eine gute Blattmasse mit möglichst planophiler Blattstellung ausbilden, sind in diesem Zusammenhang konkurrenzstärker, was im ökologischen Anbau zu einer Arbeitserleichterung führen kann. Zudem bleibt der Oberboden durch die Beschattung feuchter, was zu einer Reduzierung an Wasserverlusten führen kann. Auf der anderen Seite verdunstet eine größere Blattfläche auch mehr Wasser.

Weder für das Blattgewicht und noch für die Blattfläche in Relation zum Blumengewicht konnte ein Zusammenhang hergestellt werden (Abbildung 7 und Abbildung 8). Im Rahmen des Feldversuchs wurden sowohl Pflanzen mit hoher Blattmasse und kleiner Blume als auch Pflanzen mit kleiner Blattmasse und großer Blume gefunden.

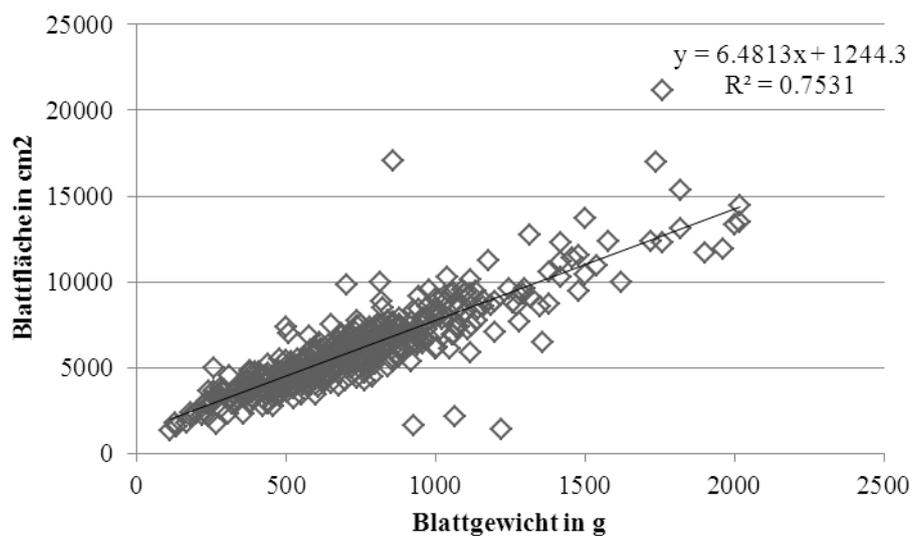


**Abbildung 7: Lineare Regression des Blumengewichts [g] in Abhängigkeit vom Blattgewicht [g] der angebauten Genotypen und Sorten zu allen Anbauzeiträumen (2011-2013).**



**Abbildung 8: Lineare Regression des Blumengewichts [g] in Abhängigkeit von der Blattfläche [cm<sup>2</sup>] der angebauten Genotypen und Sorten zu allen Anbauzeiträumen (2011-2013).**

„Marathon F1“ hatte wie auch schon beim Gesamtpflanzengewicht mit großem Abstand das höchste Blattgewicht mit 1060 g. Blattgewichte über 500 g erreichten alle Hybriden, sowie die samenfeste Sorte „Ramoso Calabrese“ und die samenfesten Genotypen „CHE-BAL“ [9], „CHE-GEB“ [11], „CHE-GRE“ [13], „CHE-MIC“ [13], „CHE-MIC-grau“ [15], „TH-CAN-FK“ [16], „TH-CAN-FS18“ [18] und „CN-COA“ [21]. Bei den vorliegenden Ergebnissen konnte ein signifikanter Zusammenhang mit einem hohen Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,75$  festgestellt werden, was eine schnelle Erfassung der Blattfläche über das Blattgewicht ohne des Einsatzes eines Blattflächenmessgerätes ermöglichen könnte, um gezielt Pflanzen mit einer großen Blattfläche zu selektieren (Abbildung 9).



**Abbildung 9: Lineare Regression von Blattfläche [cm<sup>2</sup>] in Abhängigkeit vom Blattgewicht [g] der Brokkoli-Genotypen, die im Frühjahr und Herbst 2012 sowie im Frühjahr 2013 angebaut wurden.**

Pflanzen, die ein mittleres Blattgewicht, aber eine große Blattfläche aufweisen, könnten bei der Auswahl für die ökologische Züchtung bevorzugt werden, da sie das Potential der Unkrautunterdrückung bei gleichzeitiger optimaler Ressourcennutzung verwirklichen können (Chu et al., 2006). Allerdings waren die Standardfehler besonders bei den Genotypen hoch die sich durch ein mittleres Blattgewicht und eine große Blattfläche auszeichneten, was auf eine starke Heterogenität des Zuchtmaterials hindeutet.

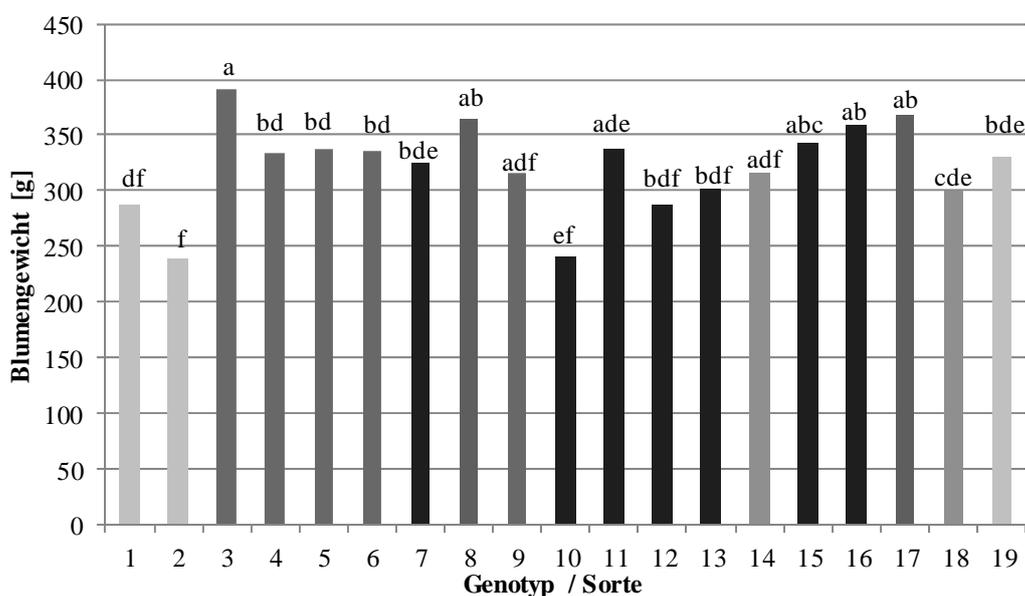
**Tabelle 4: Ergebnisse der ANOVA für Gesamtpflanzengewicht [g], Blattgewicht [g] und Blattfläche [cm<sup>2</sup>] der Genotypen und Sorten gemittelt über die Anbauzeiträume Frühjahr 2012 und Herbst 2012 sowie Frühjahr 2013; p<0,05; nb=nicht bestimmt, StrdF = Standardfehler, unterschiedliche Kleinbuchstaben geben signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen/Sorten an.**

| Genotyp/Sorte                         | Gesamtpflanzengewicht |       |      | Blattgewicht |       |      | Blattfläche     |       |      |
|---------------------------------------|-----------------------|-------|------|--------------|-------|------|-----------------|-------|------|
|                                       | g                     | StrdF | S    | g            | StrdF | S    | cm <sup>2</sup> | StrdF | S    |
| <b>Hybridsorten</b>                   |                       |       |      |              |       |      |                 |       |      |
| 1 Batavia F1                          | 1295                  | 53,4  | bc   | 837          | 56,9  | c    | 5958            | 376   | cdf  |
| 2 Belstar F1                          | 1420                  | 124,3 | ac   | nb           | nb    | nb   | 6263            | 1244  | cdi  |
| 3 Marathon F1                         | 1616                  | 61,1  | a    | 1060         | 60,4  | a    | 8872            | 387   | a    |
| 4 Monterey F1                         | 1256                  | 65,8  | bc   | 683          | 69,3  | bdef | 6020            | 458   | cdfh |
| 5 Ironman F1                          | 1178                  | 72,3  | cde  | 620          | 72,3  | eh   | 6367            | 458   | cde  |
| <b>Samenfeste Sorten</b>              |                       |       |      |              |       |      |                 |       |      |
| 6 Miranda                             | 929                   | 69,1  | g    | 425          | 65,4  | i    | 4846            | 458   | ghi  |
| 7 Ramoso                              | 1174                  | 59,7  | cde  | 670          | 53,9  | bef  | 5939            | 372   | bdf  |
| 8 Limba                               | 937                   | 61,0  | g    | 496          | 58,8  | hi   | 5034            | 394   | fgi  |
| <b>Genotypen aus On-Farm-Züchtung</b> |                       |       |      |              |       |      |                 |       |      |
| 9 KSV-BRO-CHE-BAL                     | 1218                  | 59,8  | cf   | 708          | 54,9  | be   | 6790            | 371   | c    |
| 10 KSV-BRO-CHE-LIM                    | 1246                  | 95,3  | cd   | nb           | nb    | nb   | 6284            | 822   | cdg  |
| 11 KSV-BRO-CHE-GEB                    | 940                   | 74,2  | g    | 608          | 127,8 | cei  | 5558            | 602   | cdi  |
| 12 KSV-BRO-CHE-GRE                    | 1304                  | 58,3  | bc   | 795          | 63,3  | bc   | 6820            | 382   | bc   |
| 13 KSV-BRO-CHE-MIC                    | 1194                  | 59,3  | cd   | 647          | 53,7  | efg  | 6292            | 372   | cd   |
| 14 KSV-BRO-CHE-MIC<br>blau            | 875                   | 126,9 | g    | 468          | 127,8 | ei   | 4917            | 1046  | cdi  |
| 15 KSV-BRO-CHE-MIC<br>grau            | 1109                  | 140,4 | cg   | 530          | 152,2 | cei  | 5105            | 1163  | cdi  |
| 16 KSV-BRO-TH-CAN-FK                  | 1029                  | 57,4  | eg   | 554          | 57,2  | dghi | 4800            | 382   | gi   |
| 17 KSV-BRO-Calabrese<br>spät          | 847                   | 126,3 | g    | 371          | 145,8 | fhi  | 4139            | 1120  | di   |
| 18 KSV-BRO-TH-CAN-<br>FS18            | 1062                  | 53,3  | dg   | 545          | 48,9  | ghi  | 5075            | 344   | ghi  |
| 19 KSV-BRO-CHE-ATL                    | 1275                  | 180,8 | acg  | nb           | nb    | nb   | 7249            | 1510  | acdg |
| 20 KSV-BRO-CHE-CAL                    | 1318                  | 86,5  | bc   | nb           | nb    | nb   | 5857            | 868   | cdg  |
| 21 KSV-BRO-CN-COA                     | 1069                  | 67,4  | dfg  | 606          | 59,1  | eh   | 5307            | 418   | efgi |
| 22 KSV-BRO-CN-PRI                     | 1092                  | 111,0 | bdfg | nb           | nb    | nb   | 3557            | 907   | i    |

#### 4.1.2 Blumengewicht und Aberntegrad

Das Blumengewicht ist eines der wichtigsten Merkmale, das die Marktfähigkeit von Brokkoliblumen bestimmt. Der Handel wünscht im konventionellen Anbau Blumengewichte von über 500 g (Jett et al., 2005, Krumbein und Germanus, 2013). Für ökologisch erzeugten Brokkoli werden niedrigere Blumengewichte bis 150 g akzeptiert – wird dieser Wert unterschritten, wird die Marktfähigkeit aberkannt (Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2002). Für den Sommeranbau liegen die durchschnittlichen Blumengewichte von ökologisch erzeugten Brokkoli (einfache Hybridsorten, keine CMS-Hybriden) in Sortenversuchen zwischen 300 und 600 g (Bayrische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, 2010).

Über die Versuchszeiträume Herbst 2011, Frühjahr 2012, Herbst 2012 hatte die Hybridsorte Batavia F1 mit im Mittel 391,1 g das höchste Blumengewicht. Mit durchschnittlich etwa 30 g niedrigeren Gewichten erreichten die Genotypen von Thomas Heinze 364,7 g für TH CAN FK und 368,7 g für TH CAN FS18 die höchsten Blumengewichte bei den samenfesten Genotypen. Die Genotypen CHECAL1 (337,8 g), CHEBAL1 (343,2 g) und CHEMIC1 (358,9 g) hatten im Mittel aller drei Versuchszeiträume höhere Blumengewichte, wie die im Versuch als Referenzsorten angebaute Hybriden Marathon (333,5 g), Monterey (336,8 g), Ironman (334,7 g) und Belstar (316,6 g), aber niedrigere als die von Thomas Heinze. Die niedrigsten Blumengewichte hatten Blumen der samenfesten Sorte Miranda mit 238,6 g und Limba mit 287,0 g sowie CHEATL1 mit 240,8 g und CNCOA1 mit 299,7 g (Abbildung 10)



**Abbildung 10: Mittleres Blumengewicht der Sorten / Genotypen, gemittelt über die drei Versuche (Herbst 2011, Frühjahr 2012, Herbst 2012). Gelb=samenfeste Sorte; rot=Hybridsorte; blau=samenfester Genotyp (dunkelblau=Christina Henatsch; hellblau=Christine Nagel; blau=Thomas Heinze); 1=Limba, 2=Miranda, 3=Batavia, 4=Marathon, 5=Monterey, 6=Ironman, 7=CHEGRE1, 8=THCANFK, 9=Belstar, 10=CHEATL1, 11=HECAL1, 12=CHGEB1, 13=CHELIM1, 14=CNPRI1, 15=HEBAL1, 16=HEMIC1, 17=THCANFS18, 18=CNCOA1, 19=RamosoCalabrese; Buchstabendarstellung gibt signifikante Unterschiede zwischen den Sorten / Genotypen wieder (LSD: Min. 41,5; Mittelwert 66,5; Max. 99,7); n=576.**

Bei den Anbauversuchen Frühjahr 2012 und Herbst 2012 sowie Frühjahr 2013 in Kleinhohenheim streuten die Blumengewichte stark (Tabelle 4). Die höchsten Blumengewichte unter den Hybriden über alle Anbauzeiträume gemittelt, wurden von `Batavia F1` mit 355 g erreicht, gefolgt von `Belstar F1` mit 325 g. Die etwas ältere, sowohl im konventionellen als auch im ökologischen Landbau sehr gängige Hybride `Marathon F1` lag mit 292 g im mittleren Bereich der Blumengewichte. Die OP-Sorten `Miranda`, `Limba` und `Ramoso` hatten ebenfalls mittlere Blumengewichte von 262 g, 263 g, und 288 g. Die Blumengewichte der samenfesten Genotypen unterschieden sich deutlich, wobei einige Genotypen höhere Blumengewichte als ein Teil der Hybridsorten erreichten, wie beispielsweise `KSV-BRO-CHE-MIC` mit 320 g

und dessen Nachkomme `KSV-BRO-CHE-MIC grau` mit 357 g oder `KSV-BRO-TH-CAN-FS` mit 320 g. Niedrige Blumengewichte wiesen die Genotypen `KSV-BRO-CN-COA` mit 240 g und `KSV-BRO-CHE-ATL` mit 195 g auf. Die Blumengewichte dieser Genotypen lagen damit deutlich unterhalb der von der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau für den Praxisanbau empfohlenen Hybridsorten.

**Tabelle 5: Ergebnisse der ANOVA für Blumengewicht [g], Blumendurchmesser [cm], Blumenfestigkeit der Genotypen und Sorten gemittelt über die Anbauzeiträume Frühjahr 2012 und Herbst 2012 sowie Frühjahr 2013;  $p < 0,05$ ; nb=nicht bestimmt, StrdF = Standardfehler, unterschiedliche Kleinbuchstaben geben signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen/Sorten an; \* Boniturskala von locker über mittel und fest, wobei 1 als locker definiert wurde.**

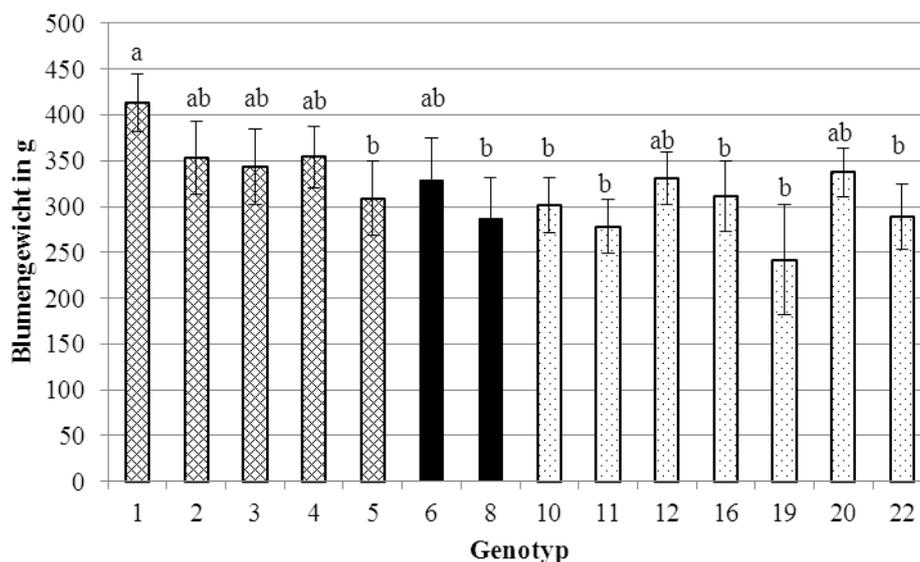
| Genotyp/Sorte                         | Blumengewicht |       |        | Blumendurchmesser |       |      | Blumenfestigkeit* |      |     |
|---------------------------------------|---------------|-------|--------|-------------------|-------|------|-------------------|------|-----|
|                                       | g             | StrdF | S      | cm                | StrdF | S    | StrdF             | S    |     |
| <b>Hybridsorten</b>                   |               |       |        |                   |       |      |                   |      |     |
| 1 Batavia F1                          | 355           | 11,4  | a      | 16,3              | 0,4   | bc   | 2,86              | 0,40 | b   |
| 2 Belstar F1                          | 325           | 37,0  | acdef  | 15,2              | 1,3   | abeg | 2,83              | 1,30 | be  |
| 3 Marathon F1                         | 292           | 17,3  | cdegh  | 15,0              | 0,6   | de   | 2,82              | 0,60 | bcd |
| 4 Monterey F1                         | 311           | 19,1  | bcde   | 14,9              | 0,7   | bef  | 2,77              | 0,70 | be  |
| 5 Ironman F1                          | 291           | 21,0  | di     | 14,9              | 0,7   | cef  | 2,86              | 0,40 | b   |
| <b>Samenfeste Sorten</b>              |               |       |        |                   |       |      |                   |      |     |
| 6 Miranda                             | 262           | 14,5  | fgi    | 13,4              | 0,5   | fg   | 2,67              | 0,50 | be  |
| 7 Ramoso                              | 288           | 17,0  | cdegh  | 15,6              | 0,6   | ce   | 2,83              | 0,60 | ab  |
| 8 Limba                               | 263           | 17,9  | ei     | 14,6              | 0,6   | ef   | 2,65              | 0,60 | de  |
| <b>Genotypen aus On-Farm-Züchtung</b> |               |       |        |                   |       |      |                   |      |     |
| 9 KSV-BRO-CHE-BAL                     | 303           | 14,0  | cdeh   | 14,9              | 0,5   | e    | 2,83              | 0,50 | ab  |
| 10 KSV-BRO-CHE-LIM                    | 274           | 28,0  | di     | 16,1              | 1,0   | abe  | 2,69              | 1,00 | be  |
| 11 KSV-BRO-CHE-GEB                    | 289           | 14,2  | cdegh  | 15,3              | 0,5   | ce   | 2,73              | 0,50 | ade |
| 12 KSV-BRO-CHE-GRE                    | 282           | 13,7  | ci     | 15,5              | 0,5   | ce   | 2,87              | 0,50 | b   |
| 13 KSV-BRO-CHE-MIC                    | 320           | 14,0  | bcd    | 16,5              | 0,5   | ac   | 2,84              | 0,50 | ab  |
| 14 KSV-BRO-CHE-MIC blau               | 306           | 15,7  | cdeh   | 16,4              | 0,5   | bcd  | 2,78              | 0,50 | bcd |
| 15 KSV-BRO-CHE-MIC grau               | 357           | 15,8  | ab     | 17,7              | 0,5   | a    | 2,77              | 0,50 | bcd |
| 16 KSV-BRO-TH-CAN-FK                  | 300           | 13,7  | cdegh  | 15,1              | 0,5   | de   | 2,80              | 0,50 | bd  |
| 17 KSV-BRO-Calabrese spät             | 307           | 15,1  | cde    | 15,6              | 0,5   | ce   | 2,65              | 0,50 | ce  |
| 18 KSV-BRO-TH-CAN-FS18                | 320           | 11,8  | d      | 16,1              | 0,4   | bcd  | 2,63              | 0,40 | e   |
| 19 KSV-BRO-CHE-ATL                    | 195           | 54,1  | hi     | 15,1              | 1,8   | abeg | 2,73              | 1,80 | be  |
| 20 KSV-BRO-CHE-CAL                    | 304           | 25,3  | acdegh | 14,9              | 0,9   | cef  | 2,70              | 0,90 | be  |
| 21 KSV-BRO-CN-COA                     | 240           | 19,2  | i      | 12,5              | 0,7   | g    | 2,71              | 0,70 | be  |
| 22 KSV-BRO-CN-PRI                     | 245           | 32,7  | ei     | 15,8              | 1,1   | abe  | 2,79              | 1,10 | be  |

Bei der Bewertung der durchschnittlichen Blumengewichte ist zu beachten, dass die Einflüsse des Anbauzeitraums und des Probenahmetermins hoch signifikant waren (Tabelle 6).

**Tabelle 6: Ergebnisse der ANOVA des Blumengewichts (F-Test mit den festen Effekten Probenahme, Genotyp und der Interaktion Block\*Anbauzeitraum; Pr > F gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit für  $\alpha = 0,05$  an).**

| Feste Effekte     | F-Statistik | Pr > F   |
|-------------------|-------------|----------|
| Probenahme        | 17,64       | < 0,0001 |
| Genotyp           | 3,54        | < 0,0001 |
| Block*Anbausaison | 11,05       | < 0,0001 |

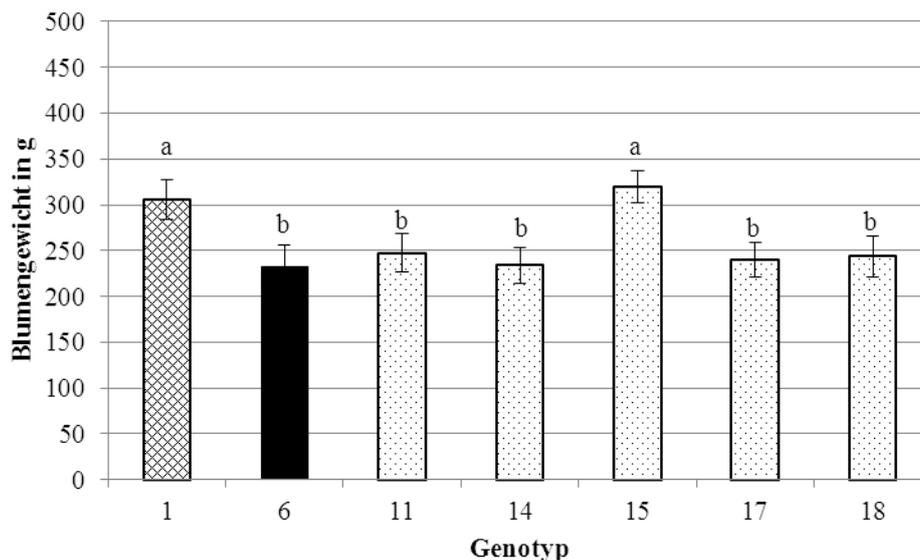
In Abbildung 11 und Abbildung 12 werden beispielhaft die Blumengewichte der Anbauzeiträume im Frühjahr 2011 und Herbst 2013 dargestellt. Zwischen dem Anbau im Herbst 2011 und dem Anbau im Frühjahr 2013 lagen zwei Selektionsschritte, in denen die Anzahl der angebauten Genotypen weiter eingeschränkt wurde und in denen vielversprechende Genotypen weiterentwickelt wurden.



**Abbildung 11: Blumengewichte marktfähiger Blumen [g] der im Herbst 2011 angebauten Genotypen mit Standardfehler (Hybriden als Säulen mit Rautenmuster: 1=Batavia F1; 2=Belstar F1; 3=Marathon F1; 4=Monterey F1; 5=Ironman F1; Samenfeste Sorten als schwarze Säulen: 6=Miranda; 8=Limba; samenfeste Genotypen als Säulen mit Punkten 10=KSV-BRO-CHE-LIM; 11=KSV-BRO-CHE-GEB; 12=KSV-BRO-CHE-GRE; 16=KSV-BRO-TH-CAN-FK; 19=KSV-BRO-CHE-ATL; 20=KSV-BRO-CHE-CAL; 22=KSV-BRO-CN-PRI); Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen für  $p < 0,05$ .**

Im Herbst 2011 erreichten die samenfesten Genotypen `CHE-GRE` und `CHE-CAL` mit 331 g und 338 g ähnlich hohe Blumengewichte, wie die Hybridsorten. Lediglich `Batavia F1` [1] lag mit etwa 50 g höheren Blumengewichten mit deutlichem Abstand darüber. Die samenfeste Sorte `Miranda` [6] hatte mit 329 g ebenfalls ähnlich hohe Blumengewichte wie die Hybridsorten. Die niedrigsten Blumengewichte mit im Mittel unter 300 g hatten die samenfesten Genotypen `CHE-ATL` [19] mit 242 g, `CHE-GEB` [11] mit 278 g und `CN-PRI` [22] mit 289 g sowie die samenfeste Sorte `Limba` [8] mit 287 g. Allerdings lag das mittlere Blumengewicht der CMS-Hybride `Ironman F1` [5] mit 309 g nur knapp darüber. Teilweise hatten einige samenfeste

Genotypen einen hohen Standardfehler, was auf einen inhomogenen Blumen- bzw. Blumenentwicklungsstand hindeutet.



**Abbildung 12: Blumengewichte marktfähiger Blumen [g] der im Frühjahr 2013 angebauten Genotypen mit Standardfehler (Hybriden als Säulen mit Rautenmuster: 1=Batavia F1; Samenfeste Sorte als schwarze Säule: 6=Miranda; samenfeste Genotypen als Säulen mit Punkten: 11=KSV-BRO-CHE-GEB 14=KSV-BRO-CHE-MIC blau; 15=KSV-BRO-CHE-MIC grau; 17=KSV-BRO-Calabrese spät; 18=KSV-BRO-TH-CAN-FS18). Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen für  $p < 0.05$ .**

Im Frühjahr 2013 erreichte der samenfeste Genotyp `CHE-MIC-grau` [15] mit 320 g das gleiche Blumengewicht wie `Batavia F1`. Die anderen samenfesten Genotypen lagen im Mittel ihrer Blumengewichte unter 250 g, ebenso die samenfeste Sorte `Miranda` [6].

Aus den Daten wird ersichtlich, dass die eingesetzten samenfesten Genotypen das Potential haben, ähnlich hohe Blumengewichte von  $> 300$  g wie Hybriden, z.B. Batavia F1, zu erreichen. Dies wurde besonders in den letzten beiden Anbauzeiträumen deutlich, was auf einen Züchtungsfortschritt durch die Selektion über die vergangenen zwei Jahre hindeuten könnte. Die Schwankungen zwischen den Versuchsjahren (ca. 100 g höhere Blumengewichte im ersten Anbauzeitraum im Herbst 2011 als in den Folgejahren) können auf andere äußere Faktoren wie unterschiedliche Bodenbedingungen des Feldversuchs zurückgeführt werden.

Darüber hinaus war ein Effekt des Frühjahrs- und Herbstanbaus bei einigen Genotypen ersichtlich. So wiesen die Genotypen `CHE-MIC-blau` und `TH-CAN-FS18` im Herbst 2013 deutlich höhere Blumengewichte als im Frühjahr 2013 auf (Daten nicht dargestellt). Im Jahr 2012 waren diese Effekte jedoch nicht so deutlich, was an der relativ späten Pflanzung und Ernte mit einhergehenden kalten Temperaturen (teilweise unter  $0^{\circ}\text{C}$ ) gelegen haben könnte. Im Herbst 2012 wurde außerdem ersichtlich, dass die samenfesten Genotypen generell früher ihr marktfähiges Gewicht erzielten. In diesem Zeitraum hatten die Hybriden wie `Batavia F1` deutlich niedrigere Blumen-

gewichte. Dies lässt sich auf ein spätes Einsetzen der Blumenbildungsphase aufgrund der niedrigen Temperaturen zurückführen Dufault (1997). Die Fähigkeit der samenfesten Genotypen, auch bei einer späten Pflanzung und niedrigen Temperaturen, marktfähige Blumen mit einem durchschnittlichen Blumengewicht zu bilden, lässt auf eine besondere Eignung für den Herbstanbau schließen. Im Frühjahrsanbau ist diese Frühreife jedoch unerwünscht, da sie zu einer hohen Anzahl von Frühblühern und niedrigen Hektarerträgen marktfähiger Ware führen kann. Um die Genotypen auch für den Anbau im Frühjahr anzupassen, sind noch intensive Züchtungsarbeiten notwendig.

Neben dem Blumengewicht ist der Aberntegrad ein wichtiger Aspekt zur Sortenbeurteilung. Sowohl Vorblüher (Pflanzen, die kurz nach dem Jungpflanzenstadium eine sehr kleine Blume ausbilden und kurz darauf aufblühen), als auch kranke und kleinwüchsige Pflanzen (ein Symptom, das auf Inzucht beruhen kann) haben einen Einfluss auf den Aberntegrad. Im Frühjahr 2012 wiesen einige samenfeste Genotypen und Sorten einen hohen Grad an vorblühenden Pflanzen auf. Dies war bei den Hybridsorten nicht festzustellen. Im Herbst 2012 gab es weder bei den samenfesten Genotypen oder Sorten noch bei den Hybridsorten Vorblüher.

Einen guten Aberntegrad, d.h. eine Ernte von 90 % der angebauten Pflanzen, wiesen im Frühjahr 2012 die Hybridsorten Batavia (92 %), Marathon (93 %), Monterey (96 %) und Ironman (93 %), als auch die samenfesten Genotypen CHEGRE1 (95 %), CHEBAL1 (95 %), CHEMIC1 (97 %) und die samenfeste Sorte Ramoso Calabrese (92 %) auf. Im Herbst 2012 hatten die Hybridsorten teilweise einen sehr niedrigen Aberntegrad, da der späte Pflanztermin zu einer verlängerten vegetativen Phase führte und nicht mehr alle Blumen bis zum letzten Erntetermin ausgebildet wurden. Dennoch erreichten die samenfeste Sorte Ramoso Calabrese (92 %), die Hybridsorten Batavia (92 %) und Monterey (86 %), sowie die samenfesten Genotypen THCANFS18 (90 %), THCANFK (88 %), CHEBAL1 (86 %) und CHEMIC1 (85 %) relativ hohe Aberntegrade. Die Aberntegrade der geprüften Sorten sind in Tabelle 9 im Kapitel 4.1.5 gemittelt über alle Anbauzeiträume nochmals gesondert ausgewiesen.

### 4.1.3 Blumendurchmesser

Für die Vermarktungsfähigkeit und der Anbauwürdigkeit einer Brokkoli-Sorte sind nicht nur die vegetativen Merkmale und das Blumengewicht, sondern auch weitere Qualitätsparameter, wie der Durchmesser der Blume und deren Festigkeit und Form ausschlaggebend. Um die Marktfähigkeit zu erreichen, müssen Brokkoli-Blumen einen Mindestdurchmesser von 7 cm aufweisen. Im vorliegenden Versuch wurden marktfähige Blumen geerntet und deren Blumendurchmesser ermittelt. Die Ergebnisse der Varianzanalyse zeigten, dass neben dem Faktor ‚Genotyp‘ die Faktoren ‚Probenahme‘ und die Interaktion ‚Block\*Anbauzeitraum‘ einen signifikanten Einfluss auf den Blumendurchmesser hatten (Tabelle 7).

Die größten Blumendurchmesser hatte `CHE-MIC-grau` mit 17,7 cm, gefolgt `CHE-MIC` mit 16,5, `CHE-MIC-blau` mit 16,4 cm und `Batavia F1` mit 16,3 cm (Tabelle 5). Die kleinsten Blumendurchmesser wiesen der samenfeste Genotyp `CN-COA` mit 12,5 cm und die CMS-Hybride `Ironman F1` mit 13,4 cm auf (Tabelle 5). Tendenziell hatten die samenfesten Genotypen etwas größere Blumen als die Hybridsorten. In Anlehnung an den Mindestdurchmesser von 7 cm könnten diese Genotypen damit theoretisch früher geerntet und das Erntefenster vorgezogen werden.

**Tabelle 7: Ergebnisse der ANOVA des Blumendurchmessers (F-Test mit den festen Effekten Probenahme, Genotyp und der Interaktion Block\*Anbauzeitraum; Pr > F gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit für  $\alpha = 0,05$  an).**

| <b>Feste Effekte</b> | <b>F-Statistik</b> | <b>Pr &gt; F</b> |
|----------------------|--------------------|------------------|
| Probenahme           | 36,8               | < 0,0001         |
| Genotyp              | 3,84               | < 0,0001         |
| Block*Anbauzeitraum  | 14,68              | < 0,0001         |

Es ist anzunehmen, dass der Anbauzeitraum einen ähnlichen Einfluss auf den Blumendurchmesser zeigt wie auf das Blumengewicht, zumal beide Parameter mit einander verbunden sind. Der Effekt des Faktors ‚Probenahme‘ könnte zum Tragen kommen, wenn Sorten / Genotypen nicht zum idealen Zeitpunkt beprobt wurden, d.h. die Blumen wurden zu früh geerntet, so dass sie den optimalen Blumendurchmesser noch nicht erreicht hatten.

#### 4.1.4 Blumenfestigkeit

Die Blumenfestigkeit wurde in die Kategorien locker, mittel und fest klassifiziert. Die Blumenfestigkeit wurde nach der Ernte der Blume bonitiert und entspricht damit der Blumenfestigkeit, mit der die Blume im Praxisanbau vermarktet wird. Die Blumenfestigkeit wird zwar durch den Genotyp beeinflusst, letztendlich durchläuft aber jede Brokkoli-Blume bedingt durch die Phänologie der Blüte alle Stadien von ‚fest‘ bis ‚locker‘ während sie sich entwickelt. Sehr lockere Brokkoli-Blumen signalisieren daher für Handel und Verbraucher mindere Qualitäten. Die Geschwindigkeit, mit der eine Brokkoli-Blume die Stadien von ‚fest‘ bis ‚locker‘ durchläuft, definiert das Erntefenster und ist damit ein wichtiges züchterisches Kriterium.

Wie die vorangehend beschriebenen Parameter war die Blumenfestigkeit signifikant von den klimatischen d.h. vom Anbauzeitraum (Frühjahr oder Herbst), zeitlichen und genotypischen Effekten beeinflusst (Tabelle 8). Eine hohe Blumenfestigkeit hatten `Marathon F1` und `Batavia F1` sowie die samenfesten Genotyp `CHE-GRE` und `CHE-MIC`. Lockere Blumen hatten die samenfesten Genotypen `Calabrese-spät` und `TH-CAN-FS18`.

**Tabelle 8: Ergebnisse der ANOVA der Blumenfestigkeit (F-Test mit den festen Effekten Probenahme, Genotyp und der Interaktion Block\*Anbauzeitraum; Pr > F gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit für  $\alpha = 0,05$  an), die Effekte haben einen signifikanten Einfluss wenn  $p < 0,05$  ist.**

| Feste Effekte       | F-Statistik | Pr > F   |
|---------------------|-------------|----------|
| Probenahme          | 11,19       | < 0,0001 |
| Genotyp             | 2,03        | < 0,004  |
| Block*Anbauzeitraum | 5,42        | < 0,0001 |

Die Blumenfestigkeit der Hybriden war im Allgemeinen höher als die der samenfesten Genotypen (Tabelle 5). Allerdings gab es samenfeste Genotypen die über den gesamten Anbauzeitraum feste Blumen ausbildeten.

Neben den phänologischen Eigenschaften der Brokkolipflanzen wirkten sich auch morphologische Eigenschaften auf die Blumenfestigkeit aus. So konnte beobachtet werden, dass Blumen, die längere Blumenverzweigungen aufwiesen, eine lockere Blume bildeten, da die Blume nicht so dicht angeordnet bzw. stabil war. Deshalb sind bei den neueren Hybriden, wie beispielsweise Batavia F1 die Blumenformen sehr rund, was eine hohe Festigkeit allein aufgrund der Blumenform ermöglicht (Branca, 2008). Hier eröffnen sich weitere züchterische Möglichkeiten, um festere Blumen zu entwickeln.

#### 4.1.5 Ertrag

Zur Beurteilung des Ertrags der geprüften Sorten, Hybriden und Genotypen wurden der Aberntegrad, der Gesamtertrag (marktfähig + nicht marktfähig) sowie der marktfähige Ertrag herangezogen. Tabelle 9 gibt einen Überblick über die einzelnen erfassten Parameter im Mittel über alle Anbauzeiträume. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der Anbauzeiträume für die geprüften Sorten, Hybriden und Genotypen variiert.

Im Mittel über alle Anbauzeiträume variierte der Gesamtertrag über alle geprüften Sorten, Hybriden und Genotypen zwischen  $7.9 \text{ t ha}^{-1}$  und  $12.70 \text{ t ha}^{-1}$ . Hierbei wies sie Hybride Batavia F1 den höchsten Gesamtertrag auf, die Sorten Limba und Miranda lagen mit  $7.9 \text{ t ha}^{-1}$  bzw.  $8.20 \text{ t ha}^{-1}$  im unteren Ertragsbereich. Die offenabblühenden Genotypen ‚CHE-MIC-1‘ und ‚TH-CAN-FS-18‘ lagen hierbei mit  $9.85 \text{ t ha}^{-1}$  und  $9.9 \text{ t ha}^{-1}$  im mittleren Ertragsbereich. Der Aberntegrad lag im Mittel zwischen 74.5 % und 92 %, wobei die offenabblühenden Genotypen durchaus hohe Aberntegrade aufwiesen.

Aus dem Aberntegrad und dem Gesamtertrag resultiert der marktfähige Ertrag. Über alle geprüften Sorten, Hybriden und Genotypen schwankte der marktfähige Ertrag zwischen  $6.1 \text{ t ha}^{-1}$  und  $11.68 \text{ t ha}^{-1}$ , wobei die Hybride Batavia F1 den höchsten marktfähigen Ertrag realisieren konnte. Die offenabblühenden Genotypen ‚CHE-MIC-1‘ und ‚TH-CAN-FS-18‘ lagen mit  $8.9 \text{ t ha}^{-1}$  und  $8.5 \text{ t ha}^{-1}$  im mittleren Ertragsbereich.

Damit schnitten die offenabblühenden Genotypen im Vergleich zu der Hybridsorte etwas schlechter ab, was mit Ergebnissen einer Studie von McKenzie, (2013) übereinstimmt. In der Gesamtbewertung der erzielten Erträge, lagen die marktfähigen Erträge unter denen die vom Statistischen Bundesamt (2011) für Brokkoli mit im Mittel 12,22 t ha<sup>-1</sup> veröffentlicht wurden. In anderen Studien wurden Erträge zwischen 3,17 - 24,36 t ha<sup>-1</sup> (Acikgoz, 2010), 4,4 – 12 t ha<sup>-1</sup> (Kaluzewicz et al., 2009), 5 – 14 t ha<sup>-1</sup> (Chung und Strickland, 1986), 10 – 14 t ha<sup>-1</sup> (Griffith und Darling, 1990) und 6,6 - 15,3 t ha<sup>-1</sup> (Shattuck et al., 1986) ermittelt. Bei einer Erhebung zur Charakterisierung verschiedener Brokkolisorten zeigte ‚Marathon‘ einen Ertrag von 11,6 t ha<sup>-1</sup> (Vidal-Aragon et al., 2009). Generell ist jedoch festzustellen, dass die Sorten/Genotypen an die Vergleichswerte durchaus heranreichten und sich im Mittelfeld derer befanden. Spitzenerträge blieben aus, wobei es auch keine extrem niedrigen Ertragswerte gab. Ein Vergleich mit den vorhandenen Literaturwerten muss allerdings kritisch betrachtet werden, da die Ertragsdaten je nach Pflanzdatum, Pflanzabstand, Art der Ernte (sequenziell oder einmalig) und Klimabedingungen unterschiedlich waren.

Tabelle 9: Erfasste Parameter zur Beurteilung des Ertrages im Mittel über alle Anbauzeiträume.

| Genotyp / Sorte | Gesamtpflanze |                                | Blume       |                  | Gesamtertrag          |                 | Marktfähiger Ertrag   |
|-----------------|---------------|--------------------------------|-------------|------------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
|                 | Gewicht [g]   | Blattfläche [cm <sup>2</sup> ] | Gewicht [g] | Durchmesser [cm] | [t ha <sup>-1</sup> ] | Aberntegrad [%] | [t ha <sup>-1</sup> ] |
| Limba           | 1025.7 {      | 5029                           | 287.0       | 14,4             | 8.20                  | 74.50           | 6.11                  |
| Miranda         | 989.1 {f}     | 5255 {def}                     | 238.6 {f}   | 12,9 {e}         | 7.90                  | 78.00           | 6.16                  |
| Batavia         | 1418.5 {b}    | 6479 {bc}                      | 391.1 {a}   | 16 {abc}         | 12.70                 | 92.00           | 11.68                 |
| Marathon        | 1690.5 {a}    | 8536 {a}                       | 333.5 {bd}  | 15 {ade}         | 11.00                 | 82.20           | 9.04                  |
| Monterey        | 1334.5 {bc}   | 5916 {bf}                      | 336.8 {bd}  | 15 {ade}         | 11.10                 | 91.00           | 10.10                 |
| Ironman         | 1240.1 {cd}   | 6169 {bd}                      | 334.7 {bd}  | 15 {cd}          | 11.20                 | 85.50           | 9.58                  |
| CHE-GRE-1       | 1427.0 {b}    | 6833 {b}                       | 325.6 {bde} | 16 {abc}         | 10.50                 | 86.50           | 9.08                  |
| TH-CAN-FK       | 1172.9 {cde}  | 5009 {ef}                      | 364.7 {ab}  | 16 {cd}          | 11.50                 | 79.00           | 9.09                  |
| Belstar         | 1360.4 {bc}   | 6255 {be}                      | 316.6 {adf} | 14 {ce}          |                       |                 |                       |
| CHE-ATL-1       | 1331.0 {bde}  | 7003 {abd}                     | 240.8 {ef}  | 15 {ce}          |                       |                 |                       |
| CHE-CAL-1       | 1278.4 {bde}  | 5493 {bf}                      | 337.8 {ade} | 15 {ce}          |                       |                 |                       |
| CHE-GEB-1       | 969.7 {df}    | 4220 {f}                       | 286.9 {bdf} | 14 {ce}          |                       |                 |                       |
| CHE-LIM-1       | 1229.1 {bdf}  | 5548 {bf}                      | 301.7 {bdf} | 16 {ce}          |                       |                 |                       |
| CN-PRI-1        | 1268.9 {bdf}  | 5673 {bf}                      | 315.1 {adf} | 17 {cd}          |                       |                 |                       |
| CHE-BAL-1       | 1316.6 {bc}   | 6823 {b}                       | 343.2 {abc} | 15 {cdf}         | 11.10                 | 90.50           | 10.05                 |
| CHE-MIC-1       | 1281.0 {bc}   | 6345 {bc}                      | 358.9 {ab}  | 16 {abc}         | 9.85                  | 91.00           | 8.96                  |
| TH-CAN-FS18     | 1173.6 {cde}  | 5081 {ef}                      | 368.7 {ab}  | 17 {c}           | 9.90                  | 86.00           | 8.51                  |
| CN-COA-1        | 1207.4 {cd}   | 5560 {cdef}                    | 299.7 {cde} | 13 {ef}          | 8.35                  | 83.00           | 6.93                  |

## 4.2 Antioxidatives Potential

Antioxidantien in Gemüse und Früchten sind wichtige sekundäre, bioaktive Inhaltsstoffe, die auf verschiedene Weise gesundheitsförderlich im menschlichen Organismus wirken können. Neben der Inhibition freier Radikale, die sonst Zellen durch Oxidation schädigen können, unterstützen sie Mechanismen zur Krebsprävention und Vorbeugung von Herz-Kreislauf Krankheiten (Slattery, 2000, Prior und Cao, 2000). Die fettlöslichen Antioxidantien, wie Vitamin E, stehen in Wechselwirkung mit wasserlöslichen Antioxidantien, wie Ascorbinsäure, und unterdrücken durch gemeinsame Wirkungsmechanismen Oxidationsprozesse in Zellen. Brokkoli enthält verschiedene Antioxidantien, wie Carotinoide, Tocopherole, Ascorbinsäure und Flavonoide (Kurilich et al., 1998, Plumb et al., 1997).

Das antioxidative Potenzial der Brokkoliblumen wurde für die Proben des Herbstsatzes 2011 und des Frühjahrssatzes 2012 bestimmt. Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Genotypen festgestellt werden, obwohl es geringe Unterschiede an wasser- und lipidlöslichem antioxidativen Potenzial gab. Hoch signifikante Unterschiede wurden allerdings zwischen den Probenahmeterminen festgestellt (Tabelle 10).

**Tabelle 10: Ergebnisse der ANOVA des wasserlöslichen antioxidativen Potenzials (ACW) und des lipidlöslichen antioxidativen Potenzials (ACL), p-Werte des F-Tests; feste Effekte Probenahme, Genotyp und des Blocks. Pr > F gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit an für  $\alpha = 0,05$ ; Effekte sind signifikant für  $p < 0,05$ .**

| Feste Effekte    | ACW         |          | ACL         |          |
|------------------|-------------|----------|-------------|----------|
|                  | F-Statistik | Pr > F   | F-Statistik | Pr > F   |
| Block            | 0,05        | 0,9479   | 4,66        | 0,0107   |
| Probenahmetermin | 11,01       | < 0,0001 | 38,28       | < 0,0001 |
| Genotyp          | 0,93        | 0,5478   | 1,13        | 0,3234   |

Das wasserlösliche antioxidative Potenzial (ACW) lag bei den geprüften Genotypen zwischen  $7,7 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$  und  $15,9 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$  ausgedrückt als Ascorbinsäureäquivalent (Tabelle 11). Im Vergleich zu anderen Studien waren die Ergebnisse für das wasserlösliche antioxidative Potenzial sehr niedrig. Allerdings ist ein direkter Vergleich schwierig, da eine andere Methode zur Messung der Antioxidantien angewendet wurde (Kurilich et al., 1998, Cao et al., 1996).

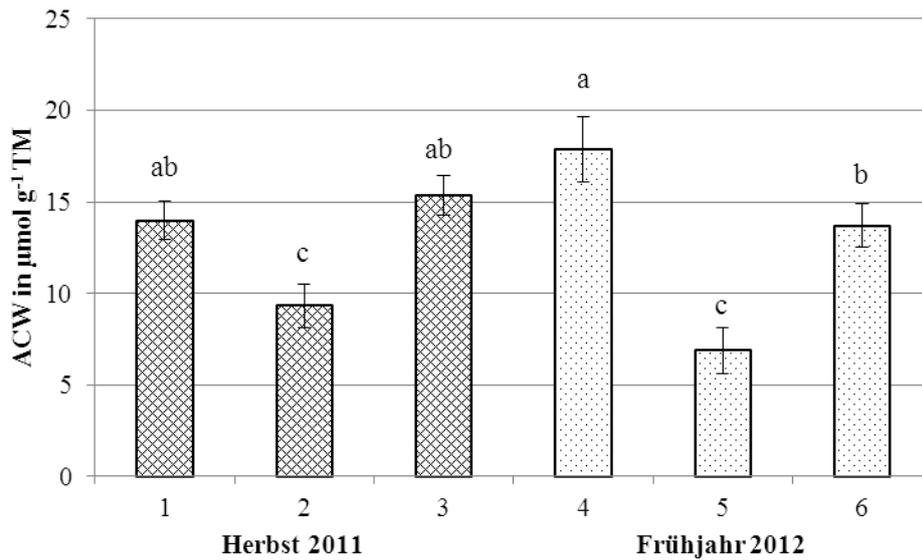
Die Hybriden `Batavia F1`, `Marathon F1` und `Monterey F1`, die samenfesten Sorten `Miranda` und `Ramoso` sowie die samenfesten Genotypen `CHE-GEB`, `CHE-MIC`, `TH-CAN-FK` und `TH-CAN-FS18` zeigten das höchste wasserlösliche antioxidative Potenzial zwischen  $13,0$  und über  $15 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$ . Im mittleren Bereich, zwischen  $11,0$  und  $13,0 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$  lagen die Werte der samenfesten Sorte `Limba` und den samenfesten Genotypen `CHE-BAL`, `CHE-LIM`, `CHE-GRE`, `CHE-ATL`, `CHE-CAL`, `CN-COA` und `CN-PRI`. Das niedrigste Potenzial von  $> 11,0 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$  wiesen die traditionell gezüchtete Hybride `Belstar F1` und die CMS-Hybride `Ironman F1` auf (Abbildung 13).

Das lipidlösliche antioxidative Potenzial in den Brokkoliblumen lag zwischen 5,3 und 8,7  $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM dargestellt in Troloxäquivalenten. Die Werte des lipidlöslichen antioxidativen Potenzials lagen in einem Bereich den auch in anderen Studien genannt wird, wobei auch hier das Problem der methodischen Unterschiede auftritt (Kurilich et al., 1998, Cao et al., 1996).

Ein hohes lipidlösliches antioxidatives Potenzial (ACL) zwischen 7,0 und über 8,0  $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM wurde in den Hybriden `Batavia F1` und `Marathon F1`, der samenfesten Sorten `Ramoso` und `Limba` sowie allen samenfesten Genotypen außer `CHE-BAL` gefunden. Letzterer wies mit 7,0  $\text{g}^{-1}$  TM ein etwas niedrigeres Potenzial auf, ähnliche Werte wiesen die Hybriden `Monterey F1` und `Ironman F1` sowie die samenfeste Sorte `Miranda` auf (Tabelle 11). Sowohl ACW als auch ACL unterschieden sich signifikant in Abhängigkeit der Probenahmeterminen (Abbildung 13 und Abbildung 14). Hohe Werte an ACW wurden in zu Beginn und zum Ende des jeweiligen Anbauzeitraums festgestellt.

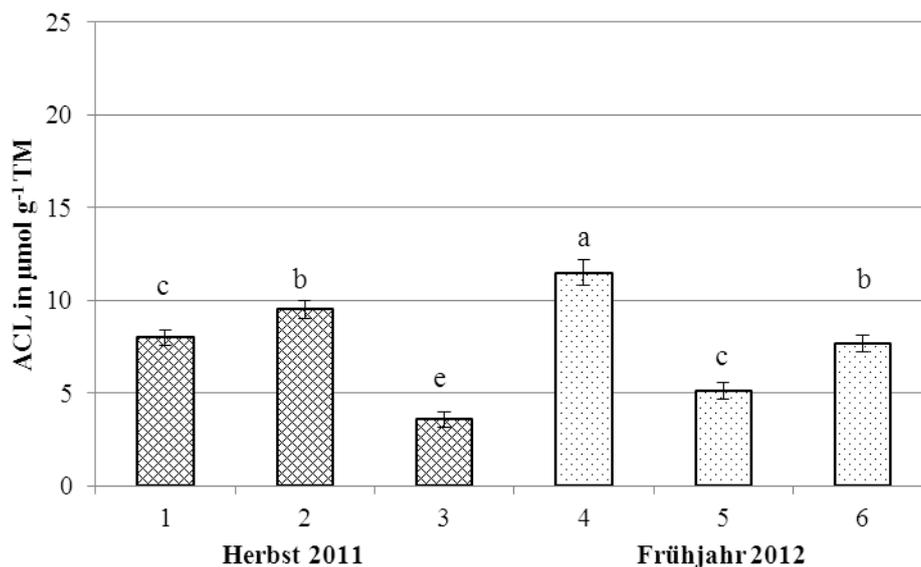
**Tabelle 11: Wasserlösliches [ACW] und lipidlösliches antioxidatives Potenzial [ACL] in  $\mu\text{mol g}^{-1}$  Trockenmasse (TM), Standardfehler und Signifikanzen (als Buchstabendarstellung) der 19 Genotypen und Sorten (Anbauzeiträumen Herbst 2011 und Frühjahr 2012); unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen (ANOVA,  $p < 0.05$ ).**

| Genotyp/Sorte                         | ACW                       |       |        | ACL                       |       |     |
|---------------------------------------|---------------------------|-------|--------|---------------------------|-------|-----|
|                                       | $\mu\text{mol g}^{-1}$ TM | StrdF | S      | $\mu\text{mol g}^{-1}$ TM | StrdF | S   |
| <b>Hybridsorten</b>                   |                           |       |        |                           |       |     |
| 1 Batavia F1                          | 15,2                      | 1,7   | a      | 7,8                       | 0,7   | ab  |
| 2 Belstar F1                          | 7,7                       | 2,2   | b      | 5,3                       | 0,9   | c   |
| 3 Marathon F1                         | 13,8                      | 1,7   | a      | 7,1                       | 0,7   | bc  |
| 4 Monterey F1                         | 14,5                      | 1,7   | a      | 7,8                       | 0,7   | ab  |
| 5 Ironman F1                          | 10,4                      | 1,8   | ab     | 6,3                       | 0,7   | ac  |
| <b>Samenfeste Sorten</b>              |                           |       |        |                           |       |     |
| 6 Miranda                             | 13,0                      | 1,9   | ab     | 6,9                       | 0,8   | bc  |
| 7 Ramoso                              | 14,7                      | 2,9   | ab     | 7,5                       | 1,0   | bc  |
| 8 Limba                               | 11,4                      | 1,7   | ab     | 8,1                       | 0,7   | ab  |
| <b>Genotypen aus On-Farm-Züchtung</b> |                           |       |        |                           |       |     |
| 9 KSV-BRO-CHE-BAL                     | 12,1                      | 2,3   | ab     | 7,0                       | 0,9   | bc  |
| 10 KSV-BRO-CHE-LIM                    | 11,9                      | 2,2   | ab     | 7,4                       | 0,9   | bc  |
| 11 KSV-BRO-CHE-GEB                    | 15,0                      | 2,2   | a      | 7,7                       | 0,9   | ab  |
| 12 KSV-BRO-CHE-GRE                    | 12,0                      | 1,9   | ab     | 7,9                       | 0,7   | ab  |
| 13 KSV-BRO-CHE-MIC                    | 15,9                      | 2,5   | a      | 7,1                       | 1,0   | bc  |
| 14 KSV-BRO-CHE-MIC blau               | 13,1                      | 1,5   | ab     | 8,3                       | 0,6   | b   |
| 15 KSV-BRO-CHE-MIC grau               | 15,7                      | 2,2   | ab     | 8,1                       | 0,9   | ab  |
| 16 KSV-BRO-TH-CAN-FK                  | 11,5                      | 3,0   | ab     | 8,7                       | 1,2   | ab  |
| 17 KSV-BRO-Calabrese spät             | 11,9                      | 2,2   | ab     | 8,8                       | 0,9   | b   |
| 18 KSV-BRO-TH-CAN-FS18                | 11,8                      | 2,5   | ab     | 7,4                       | 1,0   | bc  |
| 19 KSV-BRO-CHE-ATL                    | 12,8                      | 2,2   | ab     | 8,8                       | 0,9   | b   |
| 20 KSV-BRO-CHE-CAL                    | 30,4                      | 25,3  | acdegh | 14,9                      | 0,9   | cef |
| 21 KSV-BRO-CN-COA                     | 24,0                      | 19,2  | i      | 12,5                      | 0,7   | g   |
| 22 KSV-BRO-CN-PRI                     | 24,5                      | 32,7  | ei     | 15,8                      | 1,1   | abe |



**Abbildung 13: Wasserlösliches antioxidatives Potential [ACW; in  $\mu\text{mol g}^{-1}\text{ TM}$ ] gemittelt über alle Genotypen an den Probenahmeterminen im Herbst 2011 (Säulen mit Rauten für Mitte September, Ende September und Anfang Oktober) und im Frühjahr 2012 (Säulen mit Punkten für Anfang, Mitte und Ende Juni); unterschiedliche Kleinbuschstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für  $p < 0,05$  (ANOVA, F-Test).**

Lipidlösliche Antioxidantien waren im Anbauzeitraum am höchsten in den Brokkoliblumen, die in der Mitte des Anbauzeitraums geerntet wurden. Im Anbauzeitraum Frühjahr 2012 konnte wiederum beobachtet werden, dass die Werte zu Beginn und zum Ende des Anbauzeitraums am höchsten waren (Abbildung 14).



**Abbildung 14: Lipidlösliches antioxidatives Potential [ALC; in  $\mu\text{mol g}^{-1}\text{ TM}$ ] gemittelt über alle Genotypen an den Probenahmeterminen im Herbst 2011 (Säulen mit Rauten für Mitte September, Ende September und Anfang Oktober) und im Frühjahr 2012 (Säulen mit Punkten für Anfang, Mitte und Ende Juni); unterschiedliche Kleinbuschstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede für  $p < 0,05$  (ANOVA, F-Test).**

Da das antioxidative Potenzial stark von äußeren Faktoren abhängt, könnten klimatische Ereignisse, wie eine starke Sonneneinstrahlung (Xu et al., 2012) oder aber

auch ein Befall mit Schädlingen zu einem Anstieg an Antioxidantien, besonders gegen Ende des Anbauzeitraums, wenn mit einer größeren Populationsstärke zu rechnen ist, geführt haben (Khatab, 2007). Die tendenziell etwas höheren Werte im Frühjahr 2012 könnten auch auf den Anstieg der Temperaturen über den Anbauzeitraum zurückzuführen sein. Im Vergleich zu anderen Kohlgemüsen hat Brokkoli, neben Rosenkohl und Rotkohl, das höchste antioxidative Potenzial wobei in verschiedenen Studien unterschiedliche Messmethoden angewandt wurden (Podsdek, 2007). Vergleicht man dagegen Brokkoli mit anderen Gemüsearten, so sind die Ergebnisse widersprüchlich. In einer ägyptischen Studie zeigte Brokkoli ein niedrigeres antioxidatives Potenzial im Vergleich zu Spinat und Schalotten (Ismail und Lee, 2004). Eine Studie mit verschiedenen Gemüsen in den USA kam zu entgegengesetzten Ergebnissen: Paprika hatte ein höheres antioxidatives Potenzial als Brokkoli, der wiederum ein höheres antioxidatives Potential als Karotten, Spinat, Kohl, Zwiebel, Sellerie, Kartoffel, Lauch und Gurke (Chu et al., 2002) aufwies. Offensichtlich gibt es eine Vielzahl von Einflussfaktoren, die auf das antioxidative Potential einwirken, so dass es schwierig ist, klare Ursache – Wirkung-Beziehungen für einzelne Faktoren abzuleiten. Generell war festzustellen, dass das wasserlösliche antioxidative Potenzial höher war als das lipidlösliche antioxidative Potenzial. Allerdings waren die Unterschiede nicht so deutlich wie in Kurilich et al. (1998) beschrieben.

Insgesamt konnten während der beiden Anbauzeiträume Herbst 2011 und Frühjahr 2012 keine signifikanten sorten- bzw. genotypabhängigen Unterschiede ermittelt werden, da der Effekt des Probenahmeterrmins alle anderen Effekte überlagerte. Daher wurden die Messungen des ACW und ACL für die folgenden Anbauzeiträume nicht weitergeführt. Zwar beschreibt Guo et al. (2008) einen starken Zusammenhang zwischen Genotyp und den Gehalten an Vitamin C, Vitamin A und Glucosinolaten in ihrer Analyse von 50 Genotypen, doch diese Unterschiede wurden in der Messung von AWC und ACL in dieser Studie nicht abgebildet. Statt der Messung der Summenparameter AWC und ACL wurden daher die Gehalte der einzelnen Glucosinolate (Glucoraphanin, Glucobrassicin, 4-Methoxyglucobrassicin, 1-Methoxyglucobrassicin) in den angebauten Genotypen und Sorten mit HPLC-Messungen (Kapitel 4.3) ermittelt.

### **4.3 Glucosinolate**

Glucosinolate oder auch Senfölglykoside sind Stoffwechselprodukte, die hauptsächlich in Kreuzblütlern vorkommen (Fahey et al., 2001). Sie werden im Sekundärmetabolismus der Pflanzen gebildet und haben in den Pflanzen hauptsächlich die Funktion Schädlinge und Pilzinfektionen abzuwehren. So ist evolutionsbiologisch ein komplexes Insekt-Pflanze-Interaktions-System entstanden. Die gesundheitsfördernde Wirkung der Glucosinolate im menschlichen Organismus beruht auf antioxidativen, antibakteriellen und krebshemmenden Eigenschaften. Lebensmittelwissenschaftliche und medizinische Studien haben nachgewiesen, dass nicht direkt die Glucosinolate, sondern deren Abbauprodukte diese Wirkungen anregen. Besonders die Glucosi-

nolate Glucoraphanin bzw. dessen Abbauprodukt Sulforaphan und Glucobrassicin bzw. dessen Abbauprodukt Indol-3-Carbinol (Stoewsand, 1995) konnten als Krebsinhibitoren durch die Induktion von Phase 2 Enzymen erkannt werden (Haller et al. 2013). Neben diesen gesundheitsförderlichen Stoffen sind Glucosinolate maßgeblich für den Geschmack verantwortlich. Der typische, kohllartige, aber auch scharfe und bittere Geruch von Kohl, Meerrettich oder Kresse wird durch das Aufspalten der Glucosinolate durch das Enzym Myrosinase bei Verletzung der Zelle durch Kauen oder Schneiden verursacht (Engel et al., 2002, Halkier und Gershenzon, 2006).

Die gängigste Methode um Glucosinolate zu analysieren, ist die Hochflüssigkeitschromatografie (HPLC), die durch Kalibration mit Reinsubstanzen von Glucosinolaten in definierter Menge, eine genaue Messung der Stoffmenge erlaubt. Allerdings ist die Aufbereitung der Proben relativ zeit- und kostenaufwändig (4 Wochen, 25-30 € pro Probe), da der Messung in der HPLC-Anlage ein zweitägiger Probenaufschluss vorausgeht, sowie eine aufwändige Probenaufbereitung mit flüssigem Stickstoff und einer 5-10 tägigen Gefriertrocknung vorausgeht.

Kostengünstiger und zeitsparender sind im Vergleich dazu optische Messverfahren. So wird die Nahinfrarotspektroskopie bei der Analyse des Glucosinolatgehaltes in Rapssamen eingesetzt (Hom et al., 2007). Bei verschiedenen Kohlgewächsen (Velasco und Becker, 1998) und auch bei Brokkoli (Hernández-Hierro et al., 2012) wurden mit NIRS schon Messungen auf den Glucosinolatgehalt in verschiedenen pflanzlichen Geweben untersucht. Über die Wellenlängenmuster wurden die Proben zu einzelnen Gruppen zusammengefasst. Aus diesen Gruppen wurden einzelne Proben ausgewählt, deren Glucosinolatgehalt anschließend mittels HPLC-Analyse genau bestimmt wird. Mit diesen Analysen kann dann eine Kalibrationsgerade erstellt werden, die eine Bestimmung der Glucosinolatgehalte der Proben, die nicht in der HPLC gemessen wurden, ermöglicht. So kann eine Zeit- und Kostenreduzierung ermöglicht werden. Allerdings ist eine Probenaufbereitung (Zerschneiden, Schockfrostern, Mahlen etc.) dennoch notwendig.

Die Kalibration von NIRS erfolgte im Rahmen des Projektes mittels ermittelter Werte aus der HPLC. Die Kalibration wurde mit Ergebnissen von Blatt und Blume aller Genotypen aus den Anbauzeiträumen Herbst 2011, Frühjahr und Herbst 2012 und Frühjahr 2013 durchgeführt. Diese Proben wurden zuvor von der WINISI Software als repräsentative Proben ausgewählt. Die Kalibrationen hatten hohe Bestimmtheitsmaße zwischen 0,58 und 0,96 (Tabelle 12) und ermöglichen ein Schnell-screening der geprüften Brokkolisorten und Genotypen im Hinblick auf ihre einzelnen Glucosinolate. Selbst bei den niedrigen Bestimmtheitsmaßen bei 1-Methoxyglucobrassicin ( $R^2=0,58$ ) konnte das statistische Modell ca. 50 % der Variabilität der Werte der NIRS erklären und würden damit in einem Züchtungsprozess die Selektion bzw. Eingrenzung des geprüften Sortenspektrums um mind. 50 % ermöglichen.

**Tabelle 12: Ergebnisse der NIRS-Kalibration für die einzelnen Glucosinolate mit Probenanzahl der eingespeisten Proben, dem Mittelwert der Proben und deren Standardabweichung, sowie das Bestimmtheitsmaß der Kalibrationsgeraden .**

| <b>Glucosinolat</b>     | <b>Probenanzahl</b> | <b>Mittelwert</b> | <b>STABW</b> | <b>R<sup>2</sup></b> |
|-------------------------|---------------------|-------------------|--------------|----------------------|
| Glucoraphanin           | 228                 | 0,62              | 0,58         | 0,78                 |
| Glucobrassicin          | 306                 | 0,24              | 0,27         | 0,70                 |
| 4-Methoxyglucobrassicin | 383                 | 0,27              | 0,21         | 0,96                 |
| 1-Methoxyglucobrassicin | 366                 | 0,26              | 0,30         | 0,58                 |

Die Methode mit NIRS Korrelationen, unter Verwendung des Bestimmtheitsmaßes  $R^2$ , Glucosinolatwerte von ausgewählten Proben vorherzusagen, wurde bereits von verschiedenen Autoren angewendet (Font et al., 2004/2005a/2005b; Hernández-Hierro et al., 2012). In einer Untersuchung des GLS-Gehalts (Gesamtgehalt und Einzelglucosinolate) in den Blättern von *Brassica oleracea* L. schwankte  $R^2$  zwischen 0,77 – 0,90. Für den Gesamtglucosinolatgehalt wurde das höchste Bestimmtheitsmaß erreicht (Font et. al., 2005b). Quantifizierungen der Gesamt- und Einzelglucosinolate von *Brassica napus* ssp. *pabularia* ergaben Bestimmtheitsmaße von 0,4 - 0,89 (Font et al., 2005a). In Senfsamen wurden  $R^2$  Werte zwischen 0,33 - 0,86 erreicht (Font et al., 2004). Hernández-Hierro et al. (2012) berichteten von der Möglichkeit der Bestimmung von Gesamt- und Einzelglucosinolatgehalten in Brokkoliblättern. Es wurden  $R^2$  Werte von 0,4 – 0,89 für die einzelnen GLS (Glucobrassicin = 0,89; Glucoraphanin = 0,4; 4-Methoxyglucobrassicin = 0,69; 1-Methoxyglucobrassicin = 0,68) und ein  $R^2$  Wert von 0,73 für den Gesamtglucosinolatgehalt erreicht. Die Korrelationen, die in der vorliegenden Arbeit zwischen den Glucosinolatwerten aus der HPLC und den Vorhersagewerten aus der NIRS berechnet wurden, können als valide und stabil betrachtet werden da Bestimmtheitsmaße zwischen 0,58 und 0,96 berechnet wurden.

Da in Züchtungsvorhaben meistens eine hohe Anzahl an Einzelpflanzen und Nachkommenschaften geprüft werden, sind zeit- und kostenaufwändige Laboranalysen zur Bestimmung der Inhaltsstoffe häufig nicht realisierbar. Dadurch spielten in Züchtungsvorhaben bislang gesundheitsfördernde Inhaltsstoffe als Selektionskriterium keine Rolle. Um eine zeitnahe, nicht-destruktive Bestimmung der Glucosinolate in den Brokkoliblumen der hier beschriebenen Feldversuche zu ermöglichen, wurde ein Sensorgerät eingesetzt, das den Gehalt an Sekundärmetaboliten, wie Flavonoiden und Anthocyanen sowie den Stickstoffversorgungsstatus der gemessenen Pflanzen erfassen kann (siehe Kapitel 3.4 und 4.4). Um eine Aussage über den tatsächlichen Gehalt der gemessenen Substanzen zu ermöglichen, muss in einem ersten Ansatz ähnlich wie bei NIRS eine Kalibration des Sensorgerätes mittels HPLC-Analysen erfolgen. Im vorliegenden Projekt wurden die Brokkoliblumen aller angebauten Genotypen und Sorten daher zuerst mit dem Multiplex auf dem Feld gemessen, anschließend Proben entnommen und aufbereitet. Die Proben wurden dann anschließend mittels NIRS gemessen und ausgewählte Proben mittels HPLC analysiert.

Mittels HPLC wurden in allen Proben die vier Hauptglucosinolate Glucoraphanin (GRP), Glucobrassicin (GBS), 4-Methoxyglucobrassicin (MET) und 1-Methoxyglucobrassicin (Neoglucobrassicin (NGB)) analysiert. Glucobrassicin, Glucoraphanin und 1-Methoxyglucobrassicin wurden sowohl in der Blume als auch im Blatt als die drei vorherrschenden GLS identifiziert. Glucobrassicin hatte in der Blume den höchsten Gehalt, darauf folgten Glucoraphanin und 1-Methoxyglucobrassicin. Glucoiberin und Glucoprogoitrin lagen in geringen Mengen vor, die sich teilweise am Rande der Nachweisgrenze bewegten und werden daher im Folgenden nicht weiter berücksichtigt. Aus der Summe der ermittelten GLS ergibt sich der Gesamtglucosinolatgehalt, der dann nochmals in die indolischen und aliphatischen Glucosinoale unterteilt wird. Die Ergebnisse werden zuerst als Übersicht über alle Sorten/Genotypen präsentiert, um dann näher auf drei Zuchtlinien der Züchter von Kultursaat einzugehen, woraus sich ein möglicher Züchtungsfortschritt über den Projektzeitraum ableiten lässt.

#### 4.3.1 Gesamtglucosinolate

Einen signifikanten Einfluss auf den Gehalt aliphatischer GLS in der Blume hatten Sorte und Zeit. Bei den aliphatischen GLS hatte zudem die Sorte einen signifikanten Einfluss auf deren Gehalt im Pflanzenorgan (Tabelle 13). Generell war der Anteil der indolischen GLS höher als der der aliphatischen GLS. Die indolischen GLS machten durchschnittlich ca. 94 % und die aliphatischen GLS 6 % am Gesamtglucosinolatgehalt aus.

**Tabelle 13: ANOVA für aliphatische GLS, indolische GLS und Gesamt GLS in Blume und Blatt; signifikante Unterschiede sind fett hervorgehoben.**

| Pflanzenorgan | Effekt | Aliphatisch<br>(Pr > F <sup>1</sup> ) | Indolisch<br>(Pr > F <sup>1</sup> ) | Gesamt<br>(Pr > F <sup>1</sup> ) |
|---------------|--------|---------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Blume</b>  |        |                                       |                                     |                                  |
|               | Block  | 0,3829                                | 0,7679                              | 0,7951                           |
|               | Sorte  | <b>0,0051</b>                         | 0,1684                              | 0,1806                           |
|               | Zeit   | <b>&lt;0,0001</b>                     | 0,0929                              | 0,0874                           |
| <b>Blatt</b>  |        |                                       |                                     |                                  |
|               | Block  | 0,152                                 | 0,8902                              | 0,8613                           |
|               | Sorte  | <b>&lt;0,001</b>                      | 0,1105                              | 0,2019                           |
|               | Zeit   | <b>0,025</b>                          | <b>0,0199</b>                       | <b>0,0212</b>                    |

<sup>1</sup>Überschreitungswahrscheinlichkeit p, signifikant p < 0.05;  $\alpha = 0,05$

**Tabelle 14: Mittelwerte mit Standardfehler des Glucoraphaningehalts (GRP), des Glucobrassicin Gehalts (GBS), des 4-Methoxyglucobrassicin Gehalts (METH) und des 1-Methoxyglucobrassicin Gehalts (NGB) [ $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM] in den marktfähigen Blumen der 22 Genotypen und Sorten, gemittelt über die fünf Anbauzeiträume. Die Codierung der Genotypen / Sorten ist folgendermaßen: 1=Batavia F1; 2=Belstar F1; 3=Marathon F1; 4=Monterey F1; 5=Ironman F1; 6=Miranda; 7=Ramoso; 8=Limba; 9=KSV-BRO-CHE-BAL; 10=KSV-BRO-CHE-LIM; 11=KSV-BRO-CHE-GEB; 12=KSV-BRO-CHE-GRE; 13=KSV-BRO-CHE-MIC; 14=KSV-BRO-CHE-MIC blau; 15=KSV-BRO-CHE-MIC grau; 16=KSV-BRO-TH-CAN-FK; 17=KSV-BRO-Calabrese spät; 18=KSV-BRO-TH-CAN-FS18; 19=KSV-BRO-CHE-ATL; 20=KSV-BRO-CHE-CAL; 21=KSV-BRO-CN-COA; 22=KSV-BRO-CN-PRI. Unterschiedliche Buchstaben indizieren signifikante Unterschiede, wobei der Buchstabe ‚a‘ für den höchsten Wert steht. ANOVA, F-Test mit  $p < 0,05$ .**

| Genotyp | GRP  | Standardfehler | Signifikanz | GBS  | Standardfehler | Signifikanz | METH | Standardfehler | Signifikanz | NGB  | Standardfehler | Signifikanz |
|---------|------|----------------|-------------|------|----------------|-------------|------|----------------|-------------|------|----------------|-------------|
| 1       | 0,93 | 0,11           | ab          | 0,60 | 0,06           | g           | 0,45 | 0,01           | cde         | 0,83 | 0,03           | abc         |
| 2       | 1,29 | 0,88           | ab          | 0,71 | 0,20           | cdg         | 0,40 | 0,03           | efg         | 0,62 | 0,10           | eg          |
| 3       | 0,95 | 0,17           | ab          | 0,77 | 0,09           | cdg         | 0,46 | 0,01           | cd          | 0,79 | 0,05           | abcd        |
| 4       | 0,91 | 0,18           | ab          | 0,57 | 0,10           | fg          | 0,43 | 0,01           | df          | 0,76 | 0,05           | abcd        |
| 5       | 1,03 | 0,20           | ab          | 0,63 | 0,11           | efg         | 0,47 | 0,01           | c           | 0,89 | 0,05           | a           |
| 6       | 1,21 | 0,13           | a           | 0,89 | 0,07           | bd          | 0,46 | 0,01           | ac          | 0,68 | 0,04           | def         |
| 7       | 0,90 | 0,16           | ab          | 0,86 | 0,09           | cde         | 0,45 | 0,01           | cde         | 0,67 | 0,05           | def         |
| 8       | 1,06 | 0,19           | ab          | 0,54 | 0,09           | g           | 0,44 | 0,01           | cde         | 0,68 | 0,05           | def         |
| 9       | 0,92 | 0,12           | ab          | 0,79 | 0,07           | cdf         | 0,46 | 0,01           | c           | 0,76 | 0,04           | be          |
| 10      | 1,10 | 0,41           | ab          | 0,84 | 0,19           | cdg         | 0,48 | 0,02           | abc         | 0,55 | 0,09           | fg          |
| 11      | 0,88 | 0,13           | b           | 0,72 | 0,06           | efg         | 0,44 | 0,01           | cde         | 0,79 | 0,04           | abcd        |
| 12      | 1,01 | 0,15           | ab          | 0,70 | 0,08           | dg          | 0,45 | 0,01           | cde         | 0,71 | 0,04           | def         |
| 13      | 0,91 | 0,13           | ab          | 0,71 | 0,07           | dg          | 0,46 | 0,01           | cde         | 0,71 | 0,04           | cef         |
| 14      | 0,79 | 0,14           | b           | 0,72 | 0,07           | cdg         | 0,46 | 0,01           | ac          | 0,71 | 0,05           | def         |
| 15      | 0,86 | 0,13           | b           | 0,71 | 0,07           | cg          | 0,44 | 0,01           | bde         | 0,73 | 0,05           | ce          |
| 16      | 0,89 | 0,14           | ab          | 0,90 | 0,07           | bc          | 0,44 | 0,01           | ade         | 0,67 | 0,05           | def         |
| 17      | 0,82 | 0,13           | b           | 0,70 | 0,07           | efg         | 0,44 | 0,01           | cde         | 0,70 | 0,05           | def         |
| 18      | 1,05 | 0,10           | ab          | 0,81 | 0,05           | cde         | 0,45 | 0,01           | cde         | 0,69 | 0,03           | de          |
| 19      | 0,48 | 0,91           | ab          | 3,58 | 0,35           | a           | 0,43 | 0,03           | cdf         | 0,92 | 0,12           | abcd        |
| 20      | 1,08 | 0,62           | ab          | 0,41 | 0,17           | g           | 0,39 | 0,02           | fg          | 0,93 | 0,09           | ab          |
| 21      | 0,88 | 0,21           | ab          | 0,52 | 0,12           | g           | 0,45 | 0,02           | cde         | 0,74 | 0,06           | cef         |
| 22      | 0,36 | 0,91           | ab          | 0,50 | 0,25           | cdg         | 0,33 | 0,03           | g           | 0,38 | 0,11           | g           |

### 4.3.1 Glucoraphanin

Der Gehalt an Glucoraphanin (GRP) in den Proben der Brokkoliblumen wurde signifikant vom Probenahmetermin beeinflusst. Der Einfluss von Genotyp und die Interaktion Block\*Anbauzeitraum waren über alle Anbauzeiträume nicht signifikant (Tabelle 15).

**Tabelle 15: Ergebnisse der ANOVA des Gehalts an Glucoraphanin (GRP) in den Brokkoliblumen aller Genotypen zu allen Anbauzeiträumen. Angegeben sind die p-Werte des F-Tests mit den festen Effekten Probenahme, Genotyp und der Interaktion Block. Pr > F gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit bei einem  $\alpha = 0,05$ . Die Effekte haben einen signifikanten Einfluss wenn  $p < 0,05$  ist.**

| <b>Feste Effekte</b> | <b>F-Statistik</b> | <b>Pr &gt; F</b> |
|----------------------|--------------------|------------------|
|                      |                    | <                |
| Probenahme           | 20,21              | 0,0001           |
| Genotyp              | 0,64               | 0,8925           |
| Block*Anbauzeitraum  | 1,28               | 0,2152           |

Tabelle 14 zeigt, dass generell hohe Gehalte an GRP in der samenfesten Sorte `Miranda` [6] mit  $1,21 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM ermittelt werden konnten. Die Hybridsorte `Belstar F1` hatte ebenfalls hohe Gehalt an GRP, allerdings mit einer stärkeren Streuung (Tabelle 14). Über  $1 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM lagen des Weiteren die samenfesten Genotypen `CHE-LIM` [10], `CHE-GRE` [12], `TH-CAN-FS18` [18] und `CHE-CAL-1` [20]. Die meisten anderen Genotypen und Sorten hatten im Schnitt GRP-Gehalte zwischen  $0,8$  und  $1,0 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM. Lediglich die samenfesten Genotypen `CHE-ATL` und `CN-PRI` hatten Werte unter  $0,5 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM.

Im Folgenden wird beispielhaft anhand der drei Sorten `Limba`, `Greenia` und `Calabrese` der Gehalt an GRP näher diskutiert. Als Vergleich wurden jeweils die Hybriden `Batavia F1` und `Marathon F1` herangezogen.

Der Gehalt an Glucoraphanin war in den Blumen des samenfesten Genotyps `CHE-LIM` mit  $1,15 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM im ersten Anbauzeitraum am höchsten, gefolgt von `CHE-BAL` im zweiten Anbauzeitraum mit  $1,03 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM. Allerdings hatte `CHE-BAL` im ersten Anbauzeitraum die niedrigsten GRP-Gehalte mit  $0,76 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM. Insgesamt lagen die Nachkommen im Schnitt über den Gehalten der Mutterlinie und über denen der Hybridsorten (Abbildung 15).

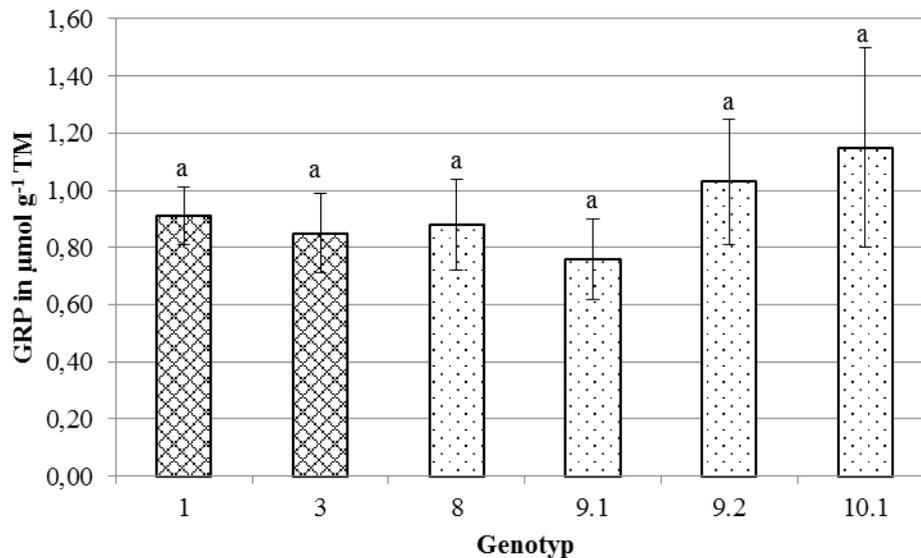


Abbildung 15: Sortenlinie `Limba`. Gehalt an Glucoraphanin [ $\mu\text{mol g}^{-1} \text{TM}$ ] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Muttersorte `Limba` [8] und deren Nachkommenschaften `CHE-BAL` [9.1] und [9.2], sowie `CHE-LIM` [10.1]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ .

Die höchsten GRP-Gehalte wies der samenfeste Genotyp `CHE-GRE` im ersten Anbauzeitraum mit  $1,35 \mu\text{mol g}^{-1} \text{TM}$ . Die `CHE-MIC`-Linie hatte etwas niedrigere GRP-Gehalte als die `CHE-GRE`- Linie und auch etwas niedrigere Gehalte als die Hybridsorten (Abbildung 16).

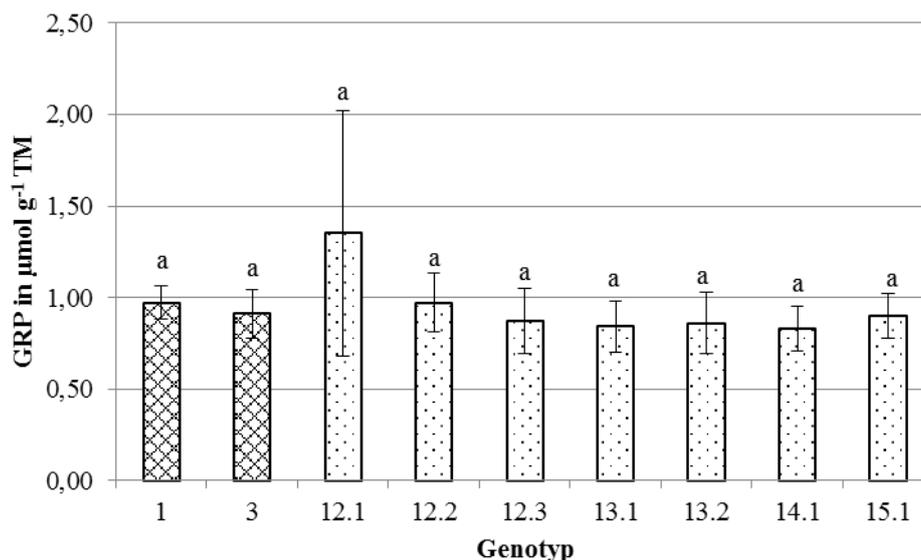
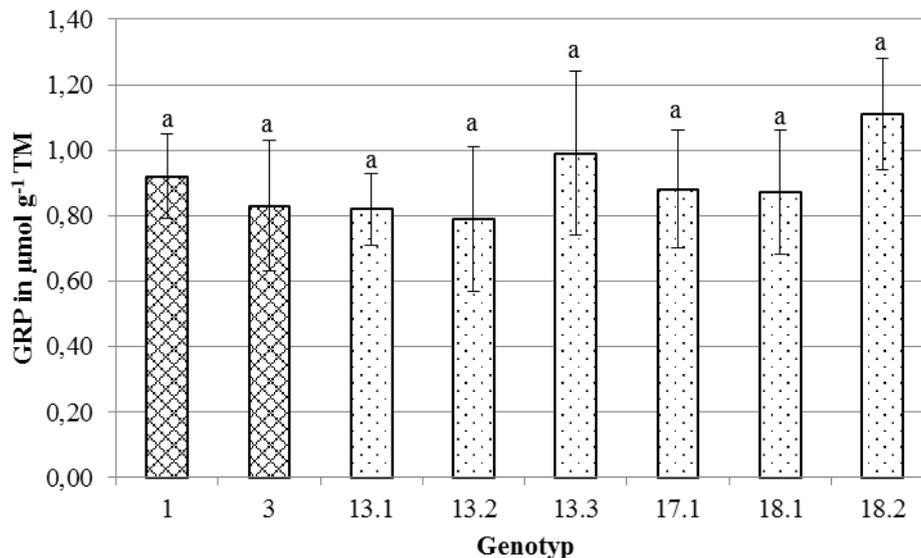


Abbildung 16: Sortenlinie `Greenia`. Gehalt an Glucoraphanin [ $\mu\text{mol g}^{-1} \text{TM}$ ] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Mutterlinie `CHE-GRE` [12.1], [12.2], [12.3] und deren Nachkommenschaften `CHE-MIC` [13.1], [13.2] und `CHE-MIC-blau` [14.1], sowie `CHE-MIC-grau` [15.1]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ .

Den höchsten Gehalt an Glucoraphanin mit  $1,11 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$  hatte der Genotyp `TH-CAN-FS18` im zweiten Anbauzeitraum, gefolgt vom Genotyp `TH-CAN-FK` im dritten Anbauzeitraum mit  $0,99 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$ . Zu den anderen Zeiträumen hatten die Blumen der verschiedenen Genotypen Werte zwischen  $0,82$  und  $0,88 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$  (Abbildung 17).



**Abbildung 17: Sortenlinie `Calabrese`. Gehalt an Glucoraphanin [ $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$ ] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Muttersorte `TH-CAN-FK` [13.1], [13.2], [13.3] und deren Nachkommenschaften `Calabrese-spät` [17.1] und `TH-CAN-FS18` [18.1], [18.2]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ .**

Die ermittelten Glucoraphaningehalte stimmten mit Angaben aus der Literatur überein. So konnten in Studien von Kushad et al. (1999) Glucoraphaningehalte von  $7,1 \pm 2,5 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$ ,  $4,1$  und  $14,9 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$  bei einem Anbau in verschiedenen Jahren und Zeiträumen (Charron et al., 2005) ermittelt werden. In einem Versuch von Vallejo et al. (2003) wurden Glucosinolat-Gehalte zu verschiedenen Entwicklungsstadien von Brokkoliblumen gemessen. Hier lagen die Werte zwischen  $0,3$  und  $2,3 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$ , was mit den Werten dieser Studie einhergeht. Diese sehr unterschiedlichen Ergebnisse lassen schon darauf hindeuten, dass externe und interne Faktoren einen großen Einfluss auf den Glucosinolatgehalt haben können. Der Einfluss verschiedener Kulturführungsmaßnahmen, wie Düngung, Beregnung, Sorte oder Anbauzeitraum können bei Brokkoli und Blumenkohl zu einer 10-fachen Erhöhung der Gehalte führen (Schreiner, 2005). In einem Experiment, das Frühjahrs- und Herbstanbau simulierte, waren die Gehalte an Glucoraphanin um das 5-fache verschieden (Charron et al., 2005).

In einem anderen Versuch lag der Glucoraphanin-Gehalt in Brokkolisprossen bei  $1,33 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ FM}$  und der Gehalt in Brokkoliblumen war mit  $1,05 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ FM}$  etwa ein Viertel niedriger (Tian et al., 2005). In den hier diskutierten Versuchen lag der GRP-Gehalt in dem Bereich, der bei Rosenkohl gemessen wurde (Kushad et al.,

1999). Die Hybride `Marathon` hatte in einem Sortenvergleich einen hohen GRP-Gehalt mit  $1,35 \mu\text{mol g}^{-1}$  FM (Frischmasse) im Vergleich zu den anderen Sorten (Farnham und Kopsell, 2004), wobei `Marathon F1` im vorliegenden Versuch lediglich im mittleren oberen Bereich mit  $0,95 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM lag. Daraus kann bedingt abgeleitet werden, dass die Genotypen und Sorten, die im vorliegenden Versuch über den Gehalten von `Marathon F1` lagen, relativ hohe Glucosinolat-Gehalte aufweisen. Der generell niedrige Gehalt an GRP kann an der relativ hohen Düngung liegen, da eine reduzierte N-Verfügbarkeit unter ökologischen Anbaubedingungen zu einem Anstieg an Glucosinolaten führen kann (Schreiner, 2005).

### 4.3.2 Glucobrassicin

Der Gehalt an Glucobrassicin (GBS) wurde sowohl vom Genotyp als auch vom Probenahmezeitpunkt signifikant beeinflusst (Tabelle 16). Die Interaktion Block\*Anbauzeitraum hatte ebenfalls einen hochsignifikanten Einfluss.

**Tabelle 16: Ergebnisse der ANOVA des Gehalts an Glucobrassicin (GBS) in den Brokkoliblumen aller Genotypen zu allen Anbauzeiträumen. Angegeben sind die p-Werte des F-Tests mit den festen Effekten Probenahme, Genotyp und der Interaktion Block. Pr > F gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit bei einem  $\alpha = 0,05$ . Die Effekte haben einen signifikanten Einfluss wenn  $p < 0,05$  ist.**

| Feste Effekte       | F-Statistik | Pr > F   |
|---------------------|-------------|----------|
| Probenahme          | 7,38        | < 0,0001 |
| Genotyp             | 5,3         | < 0,0001 |
| Block*Anbauzeitraum | 9,31        | < 0,0001 |

Die Unterschiede im Gehalt an GBS waren zwischen den Genotypen teilweise sehr groß. So wies der samenfeste Genotyp `CHE-ATL` [19] mit  $3,58 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM mit Abstand die höchsten Gehalte auf. Sonst hatte keiner der Genotypen oder Sorten GBS-Gehalte über  $1 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM. Einige samenfeste Sorten (`Miranda` und `Ramoso`) und samenfeste Genotypen `CHE-LIM`, `TH-CAN-FK` und `TH-CAN-FS18`) wiesen Gehalte zwischen  $0,8 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM und  $1,0 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM auf. Im mittleren Bereich, zwischen  $0,7 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM und  $0,8 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM lagen die Hybriden `Belstar F1` [2], `Marathon F1` [3], die samenfesten Genotypen `CHE-BAL` [9], `CHE-GEB` [11], `CHE-GRE` [12], `CHE-MIC` [13], `CHE-MIC-blau` [14], `CHE-MIC-grau` [15] und `Calabrese-spät` [17]. Unter  $0,7 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM lagen die Hybriden `Batavia F1` [1] und `Monterey F1` und `Ironman F1`, sowie die samenfeste Sorte `Limba` und die samenfesten Genotypen `CHE-CAL` [20], `CN-COA` [21] und `CN-PRI` [22].

Der Gehalt an Glucobrassicin war in den Blumen von `CHE-LIM` mit  $0,98 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM innerhalb der Sortenlinie `Greenia` am höchsten. `CHE-BAL` hatte im Gegensatz zum GRP-Gehalt im ersten Anbauzeitraum einen höheren GBS-Gehalt. Beide Nachkommenschaften hatten einen höheren GBS-Gehalt als die Mutterlinie `Limba` und die Hybridsorte `Batavia F1`, die den niedrigsten GBS-Wert von  $0,52 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM aufwies. Die Hybride `Marathon` hatte einen Gehalt von  $0,63 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM (Abbildung 18).

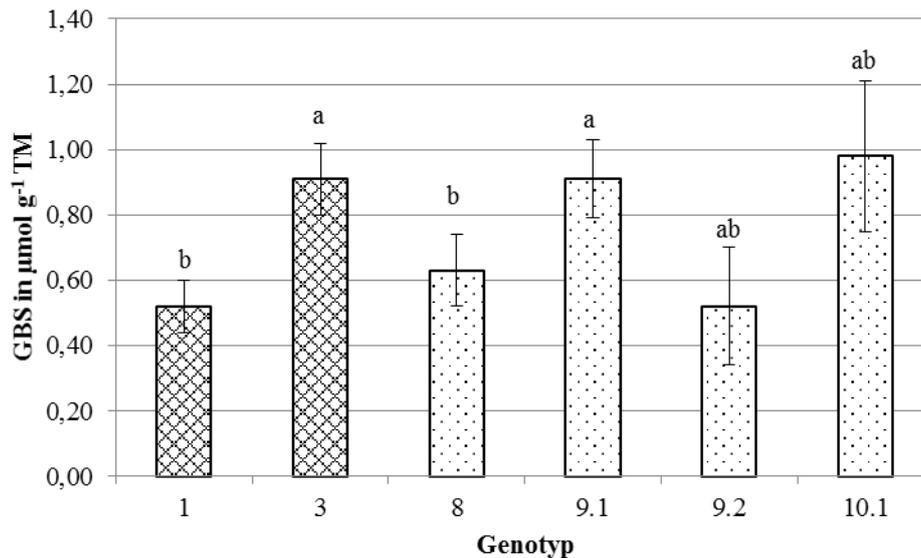


Abbildung 18: Sortenlinie `Limba`. Gehalt an Glucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1}\text{ TM}$ ] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Muttersorte `Limba` [8] und deren Nachkommenschaften `CHE-BAL` [9.1] und [9.2], sowie `CHE-LIM` [10.1]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ .

Innerhalb der Sortenlinie `Greenia` hatte `CHE-GRE` die höchsten GBS-Gehalte im ersten Anbauzeitraum mit  $0,92 \mu\text{mol g}^{-1}\text{ TM}$ , die jedoch in den folgenden Anbauzeiträumen kontinuierlich sanken. `CHE-MIC` hatte im ersten Anbauzeitraum noch einen Gehalt von  $0,74 \mu\text{mol g}^{-1}\text{ TM}$ , wohingegen die Nachkommen lediglich Gehalte von rund  $0,50 \mu\text{mol g}^{-1}\text{ TM}$  aufwiesen (Abbildung 19).

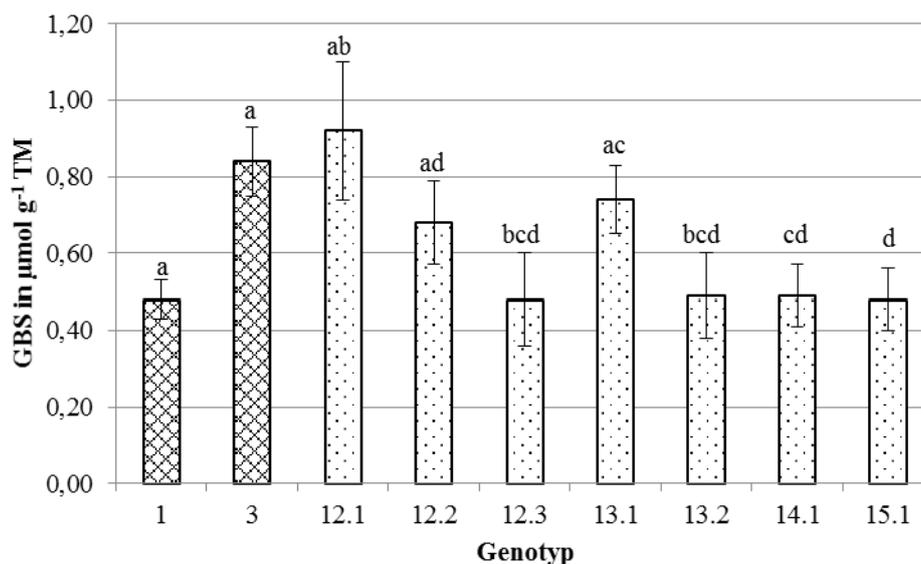
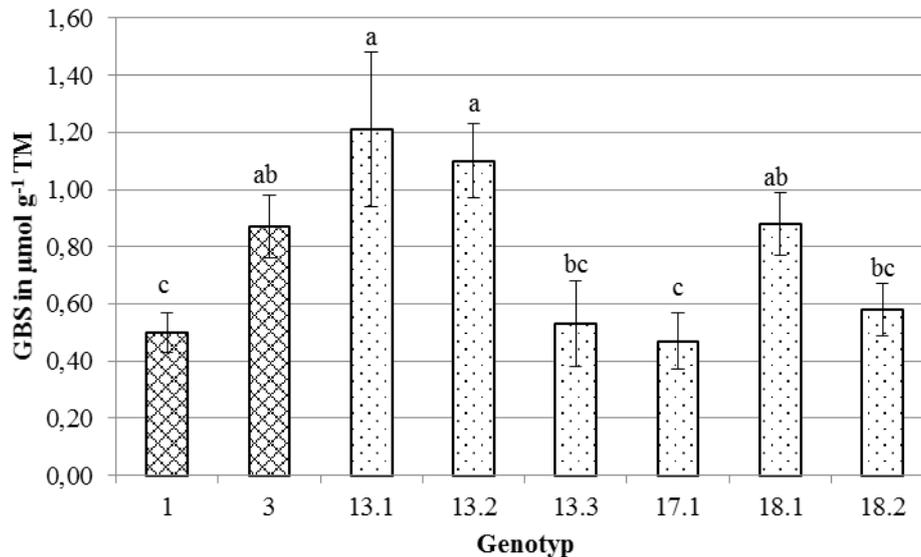


Abbildung 19: Sortenlinie `Greenia`. Gehalt an Glucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1}\text{ TM}$ ] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Mutterlinie `CHE-GRE` [12.1], [12.2], [12.3] und deren Nachkommenschaften `CHE-MIC` [13.1], [13.2] und `CHE-MIC-blau` [14.1], sowie `CHE-MIC-grau` [15.1]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ .

Beim Glucobrassicin-Gehalt ergaben sich große Unterschiede zwischen den Genotypen und Sorten innerhalb der `Calabrese`-Linie (Abbildung 20). `TH-CAN-FK` hatte im ersten und zweiten Anbauzeitraum einen sehr hohen Gehalt an GBS mit  $1,21 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$  und  $1,10 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$ . `TH-CAN-FS18` lag mit den GBS-Werten auf gleichem Niveau wie `Marathon F1`. `Calabrese-spät` und `Batavia F1` hatten den niedrigsten GBS-Gehalt mit  $0,47$  und  $0,50 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$ .



**Abbildung 20: Sortenlinie `Calabrese`. Gehalt an Glucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$ ] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Muttersorte `TH-CAN-FK` [13.1], [13.2], [13.3] und deren Nachkommenschaften `Calabrese-spät` [17.1] und `TH-CAN-FS18` [18.1], [18.2]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ .**

Kushhad et al. (1999) gibt für Brokkoli einen Glucobrassicin-Gehalt von  $1,1 \pm 0,4 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$  an. In Studien von Charron et al. (2005) wurden GBS-Gehalte zwischen  $3,6$  und  $7,5 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$  über mehrere Anbauzeiträume in zwei verschiedenen Brokkolisorten gemessen. In Studien von Vallejo et al. (2003) wurden für Marathon Glucobrassicin-Gehalte zwischen  $3,4$  und  $15,4 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$  und zwischen  $5,2$  und  $6,8 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$  gefunden (Rosa et al., 2001). Für Monterey lagen die Werte zwischen  $2,3$  und  $13,4 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$  (Vallejo et al., 2003). Im vorliegenden Versuch hatte Monterey mit  $0,57 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$  im Mittel aller Anbauzeiträume ebenfalls niedrigere Werte als Marathon mit  $0,77 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ TM}$ .

#### 4.3.3 4-Methoxyglucobrassicin

Der Probeahmetermin, die Interaktion Block\*Anbauzeitraum und der Genotyp hatten einen signifikanten Einfluss auf den Gehalt an 4-Methoxyglucobrassicin (MET) in den Proben der Brokkoliblumen (Tabelle 17).

Tabelle 17: Ergebnisse der ANOVA des Gehalts an 4-Methoxyglucobrassicin in den Brokkoliblumen aller Genotypen zu allen Anbauzeiträumen. Angegeben sind die p-Werte des F-Tests mit den festen Effekten Probenahme, Genotyp und der Interaktion Block.  $Pr > F$  gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit bei einem  $\alpha = 0,05$ . Die Effekte haben einen signifikanten Einfluss wenn  $p < 0,05$  ist.

| Feste Effekte       | F-Statistik | Pr > F  |
|---------------------|-------------|---------|
| Probenahme          | 13,65       | <0,0001 |
| Genotyp             | 2,21        | 0,0014  |
| Block*Anbauzeitraum | 4,41        | <0,0001 |

Die ermittelten MET Gehalte lagen in einem engen Bereich zwischen  $0,33 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM und  $0,48 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM. Der Faktor „Genotyp“ zeigte zwar statistisch signifikante Unterschiede für einzelne Hybriden/Sorten/Genotypen, aber Aussagen über unterschiedliche Gehalte in Hybriden versus samenfeste Sorten versus Genotypen aus dem Zuchtmaterial von Kultursaat ließen sich für die Gehalte an MET nicht treffen.

Der Gehalt an MET war in den Blumen von `CHE-BAL` im zweiten Anbauzeitraum mit  $0,49 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM am höchsten, gefolgt von `CHE-LIM` mit  $0,48 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM. Beide Nachkommenschaften hatten auch bei diesem Glucosinolat einen höheren Gehalt, als die Mutterlinie `Limba` mit  $0,44 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM und die Hybridsorten (Abbildung 1).

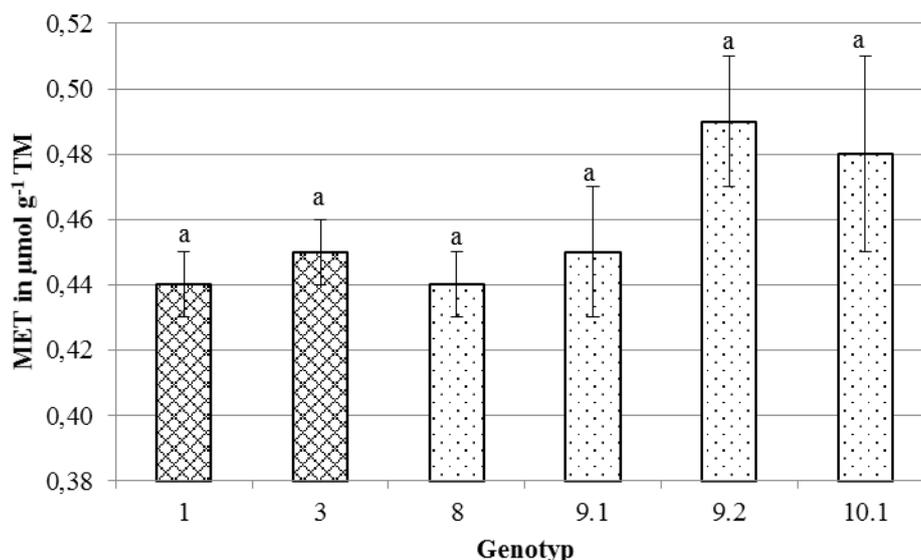
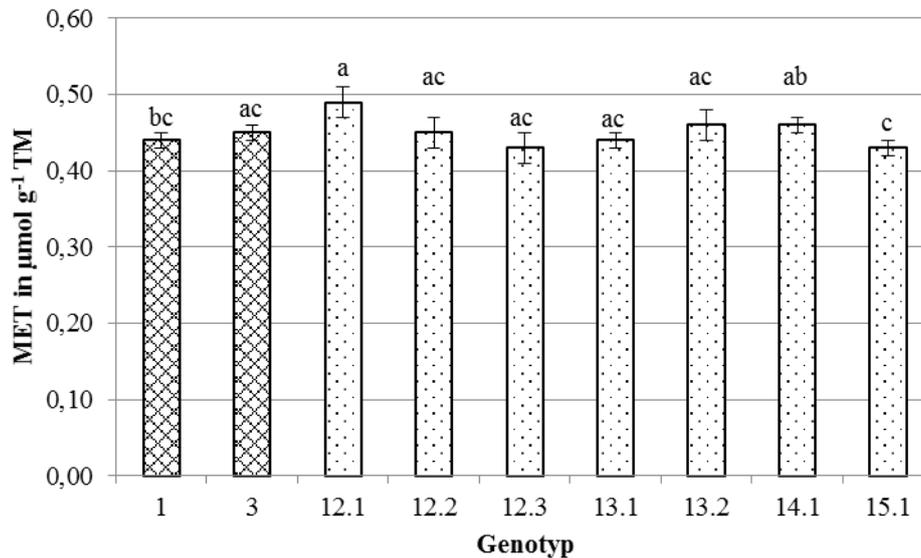


Abbildung 21: Sortenlinie `Limba`. Gehalt an 4-Methoxyglucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Muttersorte `Limba` [8] und deren Nachkommenschaften `CHE-BAL` [9.1] und [9.2], sowie `CHE-LIM` [10.1]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ .

Innerhalb der `Greenia`-Linie hatte ebenfalls `CHE-GRE` den höchsten Gehalt an MET im ersten Anbauzeitraum mit  $0,49 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM. Die Nachkommen hatten, wie auch die Hybridsorten, Gehalte zwischen  $0,43$  und  $0,46 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM. Den niedrigsten Gehalt hatte der Genotyp `CHE-MIC-grau`  $0,42 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM (Abbildung 22).



**Abbildung 22:** Sortenlinie `Greenia`. Gehalt an 4-Methoxyglucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Mutterlinie `CHE-GRE` [12.1], [12.2], [12.3] und deren Nachkommenschaften `CHE-MIC` [13.1], [13.2] und `CHE-MIC-blau` [14.1], sowie `CHE-MIC-grau` [15.1]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ .

Beim Gehalt an 4-Methoxyglucobrassicin keine Veränderungen zwischen den Genotypen und Sorten innerhalb der `Calabrese`-Linie und den zum Vergleich ausgewählten Hybridsorten. Den höchsten Gehalt wies `Marathon F1` mit  $0,45 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM auf. Den niedrigsten `TH-CAN-FK` mit  $0,40 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM (Abbildung 23).

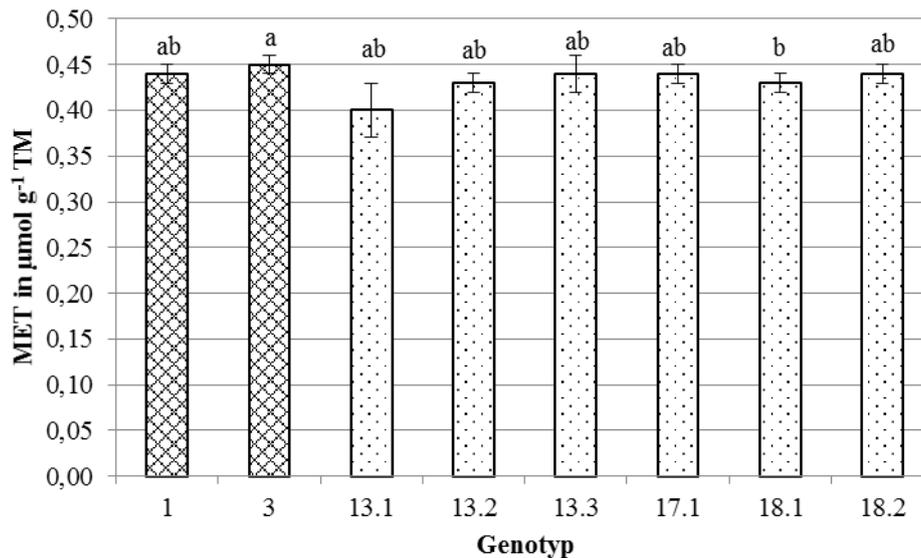


Abbildung 23: Sortenlinie `Calabrese`. Gehalt an 4-Methoxyglucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Muttersorte `TH-CAN-FK` [13.1], [13.2], [13.3] und deren Nachkommenschaften `Calabrese-spät` [17.1] und `TH-CAN-FS18` [18.1], [18.2]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ .

Für 4-Methoxyglucobrassicin lagen die in den Versuchen gemessenen Gehalte in etwa in der Höhe, die auch in der Literatur angegeben werden. Kushad (1999) zeigte in seinen Studien ebenfalls Werte von  $\sim 0,4 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM, wohingegen bei Rosa (2001) die MET-Werte der Sorte `Marathon F1` mit  $0,9$  und  $4,9 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM höher lagen. Werte zwischen  $0,4$  und  $0,8 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM wurden in Versuchen von Charron et al. (2005), die im Frühjahr und Herbst durchgeführt gemessen. Die in dieser Studie ermittelten MET-Werte sind damit im Bereich der in der Literatur aufgezeigten Werte und deuten darauf hin, dass die geprüften Sorten im Bezug auf den MET-Gehalt gleichwertig sind.

#### 4.3.4 1-Methoxyglucobrassicin

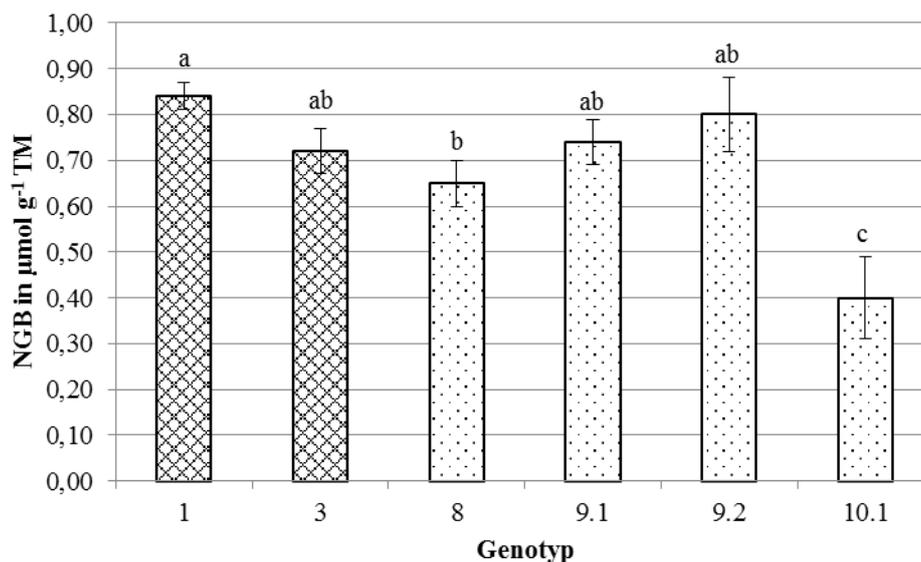
Die Effekte Genotyp und Block\*Anbauzeitraum hatten einen signifikanten Einfluss auf den Gehalt an 1-Methoxyglucobrassicin (NGB) in den Brokkoliblumen. Der Probenahmetermin hatte dagegen keinen signifikanten Einfluss (Tabelle 18).

Tabelle 18: Ergebnisse der ANOVA des Gehalts an 1-Methoxyglucobrassicin (NGB) in den Brokkoliblumen aller Genotypen zu allen Anbauzeiträumen. Angegeben sind die p-Werte des F-Tests mit den festen Effekten Probenahme, Genotyp und der Interaktion Block.  $\text{Pr} > \text{F}$  gibt die Überschreitungswahrscheinlichkeit bei einem  $\alpha = 0,05$ . Die Effekte haben einen signifikanten Einfluss wenn  $p < 0,05$  ist.

| Feste Effekte       | F-Statistik | Pr > F  |
|---------------------|-------------|---------|
| Probenahme          | 1,80        | 0,0968  |
| Genotyp             | 2,52        | 0,0002  |
| Block*Anbauzeitraum | 5,55        | <0,0001 |

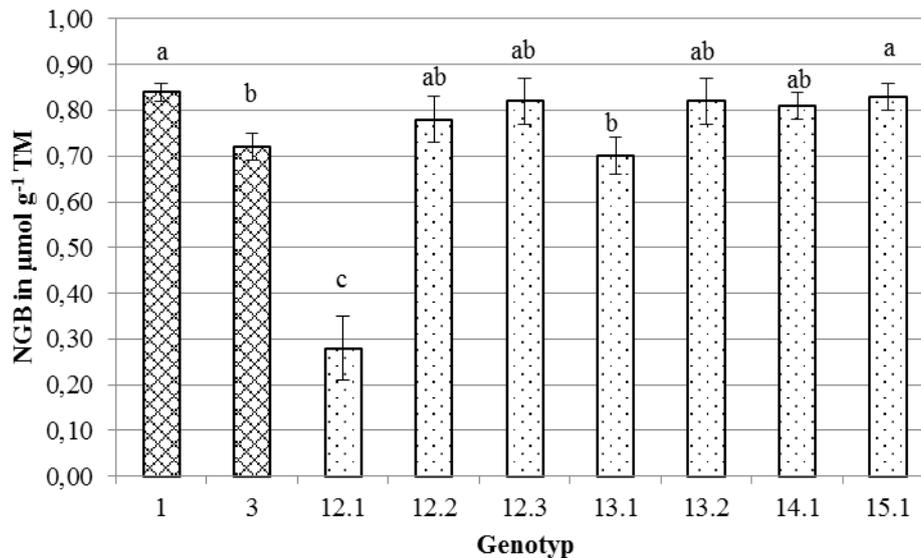
Die Gehalte an NGB in den Brokkoliblumen lagen generell zwischen 0,38 und 0,93  $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM. Die höchsten Werte zwischen 0,8 und über 0,9  $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM zeigten die Hybriden `Batavia F1` und `Ironman F1`, sowie die samenfesten Genotypen `CHE-ATL` und `CHE-CAL`. Im mittleren Bereich, zwischen 0,7 und 0,8  $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM lagen die Werte der Hybriden `Marathon F1`, `Monterey F1`, sowie die samenfesten Genotypen `CHE-BAL`, `CHE-GEB`, `CHE-GRE`, `CHE-MIC`, `CHE-MIC-blau`, `CHE-MIC-grau` und `Calabrese-spät` und `CN-COA`. Im unteren Bereich, unter 0,7  $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM lagen die Hybride `Belstar F1`, die samenfesten Sorten `Miranda`, `Ramoso` und `Limba` sowie die samenfesten Genotypen `CHE-LIM`, `TH-CAN-FK` und `CN-PRI`.

Im Vergleich der drei Sorten `Limba`, `Greenia` und `Calabrese` waren die NGB-Gehalte in den Blumen von `Batavia F1` mit 0,84  $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM am höchsten. Im Vergleich zur `Limba`-Linie wurden sie von den NGB-Gehalten in den Blumen von `CHE-BAL` mit 0,74  $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM im ersten Anbauzeitraum und 0,80  $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM im zweiten Anbauzeitraum gefolgt. Deutlich niedrigere Werte hatte der Nachkomme `CHE-LIM` mit 0,40  $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM (Abbildung 24).



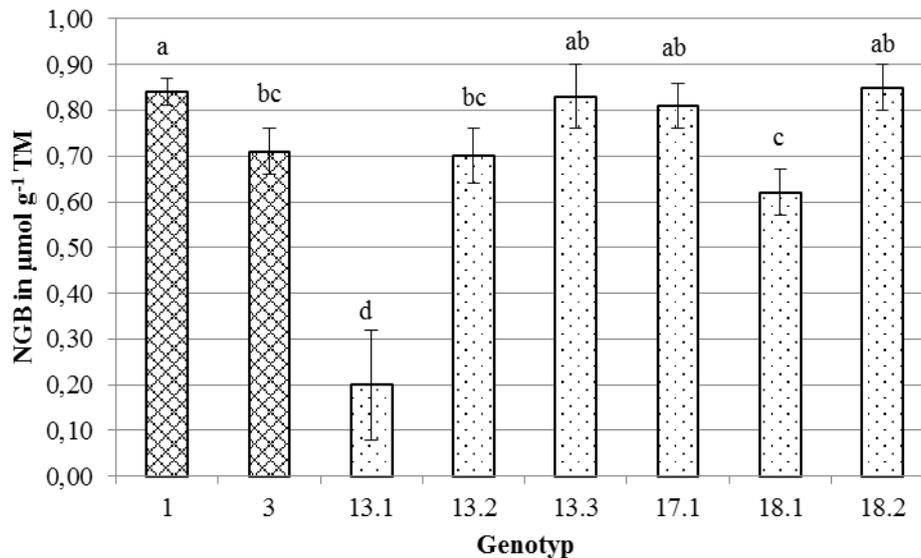
**Abbildung 24:** Sortenlinie `Limba`. Gehalt an 1-Methoxyglucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Muttersorte `Limba` [8] und deren Nachkommenschaften `CHE-BAL` [9.1] und [9.2], sowie `CHE-LIM` [10.1]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ .

In der Zuchtlinie `Greenia` konnte der gleiche Effekt wie bei der Zuchtlinie `Limba` festgestellt wurden. So hatte der Genotyp `CHE-GRE` im ersten Anbauzeitraum stets die höchsten Gehalte an GRP, GBS und MET, aber mit Abstand die niedrigsten bei NGB mit einem Gehalt von 0,28  $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM. Die höchsten Werte hatte `Batavia F1` mit 0,84  $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM, gefolgt von `CHE-MIC-grau` mit 0,83  $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM (Abbildung 25).



**Abbildung 25:** Sortenlinie `Greenia`. Gehalt an 1-Methoxyglucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1} \text{TM}$ ] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Mutterlinie `CHE-GRE` [12.1], [12.2], [12.3] und deren Nachkommenschaften `CHE-MIC` [13.1], [13.2] und `CHE-MIC-blau` [14.1], sowie `CHE-MIC-grau` [15.1]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ .

Beim Gehalt an 1-Methoxyglucobrassicin traten signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen und Sorten auf. Hohe Gehalte mit über  $0,80 \mu\text{mol g}^{-1} \text{TM}$  wiesen `Batavia F1` sowie `TH-CAN-FK` im dritten Anbauzeitraum, `Calabrese-spät` und `TH-CAN-FS18` im zweiten Anbauzeitraum auf. Im mittleren Bereich lagen `TH-CAN-FK` im zweiten Anbauzeitraum und `TH-CAN-FS18` im ersten Anbauzeitraum, als auch `Marathon F1`. Mit Abstand den niedrigsten Gehalt wies `TH-CAN-FK` im ersten Anbauzeitraum mit  $0,20 \mu\text{mol g}^{-1} \text{TM}$  auf (Abbildung 26). Hier war ein gegenläufiges Verhalten zum GBS-Gehalt zu beobachten. Achtet man auf die Glucosinolate, die eine besondere gesundheitsförderliche Wirkung wie GRP, GBS und NGB, haben, kann eine Selektion auf diese Glucosinolate erfolgen. Allerdings scheinen externe Einflüsse einen erheblichen Einfluss auf die Glucosinolatgehalte zu haben.



**Abbildung 26:** Gehalt an 1-Methoxyglucobrassicin [ $\mu\text{mol g}^{-1} \text{TM}$ ] der Referenzhybriden `Batavia F1` [1], `Marathon F1` [3], der samenfeste Muttersorte `TH-CAN-FK` [13.1], [13.2], [13.3] und deren Nachkommenschaften `Calabrese-spät` [17.1] und `TH-CAN-FS18` [18.1], [18.2]. Die Nachpunktstellen stehen für den 1. bzw. 2. und 3. Anbauzeitraum in dem sie in Kleinhohenheim angebaut wurden. Karierte Füllung = Hybride; Gepunktete Füllung = Samenfeste Sorten / Genotypen. ANOVA, F-Test, Balancierter Mittelwertvergleich,  $p < 0,05$ .

Die Angaben zu NGB-Gehalten in der Literatur lagen meist etwas höher als die im vorliegenden Experiment ermittelten Werte. So hatte `Marathon F1` in unterschiedlichen Blütenentwicklungsstadien NGB-Werte zwischen 11,7 und 55,0  $\mu\text{mol g}^{-1} \text{TM}$  und `Monterey F1` Werte zwischen 12,2 und 49,2  $\mu\text{mol g}^{-1} \text{TM}$  (Vallejo et al., 2003). Im Frühjahrs- und Herbstanbau wurden Werte zwischen 1,1 und 9,0  $\mu\text{mol g}^{-1} \text{TM}$  gemessen (Charron et al., 2005), wohingegen bei einem Vergleich verschiedener Kohlvarietäten Brokkoli mit 0,2  $\mu\text{mol g}^{-1} \text{TM}$  im oberen Bereich lag (Kushad et al., 1999).

Da besonders GRP und GBS krebshemmende Wirkungen haben, sollte auf diese Glucosinolate in den Neuzüchtungen und Selektionen besonders Wert gelegt werden. Genotypen, die einen besonders hohen Gehalt an GRP hatten, waren `CHE-LIM`, `CHE-GRE`, `TH-CAN-FS18` und `Calabrese-spät`. Bei den samenfesten Sorten hatten `Miranda` und `Limba` hohe Werte sowie die Hybriden `Belstar F1`, `Marathon F1` und `Ironman F1`. Bei GBS hatten ebenfalls `Belstar F1` und `Marathon F1` hohe Werte, aber auch `Miranda` und `Ramoso`, sowie alle samenfesten Genotypen, außer `CHE-BAL`, `CHE-CAL` und `CN-PRI`, die mittlere oder niedrige GBS-Gehalte hatten. Hohe Werte an NGB hatten die samenfesten Genotypen `CHE-GEB`, `CHE-ATL` und `CHE-CAL` sowie alle Hybridsorten, außer `Belstar F1`. Um die Spannweite der Glucosinolatgehalte in den Sorten/Genotypen besser darzustellen, wären Versuche, die verschiedene Umwelteinflüsse wie eine reduzierte N-Düngung oder Schädlingsbefall simulieren, sinnvoll. Dadurch könnte das Potenzial zur Bildung von Glucosinolaten konkreter eingeschätzt werden.

## 4.4 Sensortool Multiplex

Das Potenzial von Populationssorten bei Brokkoli hinsichtlich Geschmack/Aroma und Gehalt an sekundären, bioaktiven Inhaltsstoffen ist derzeit unerforscht bzw. ungenutzt. Mit einem Methodenspektrum von hochauflösenden chromatographischen und spektroskopischen Methoden sollen in diesem Projekt sekundäre Pflanzenstoffe, insbesondere aus der Gruppe der Flavonoide und Carotenoide in dem angebauten Sortenspektrum, nach der Methode von Krumbein et al. (2005) analysiert und bestimmt werden. Im Vordergrund der Analyse standen dabei Vorkommen, Bildung und Anreicherungsmöglichkeiten von Verbindungen, deren Abbauprodukte unter anderem ein besonders hohes anticancerogenes Potential aufweisen, wie z.B. Sulforaphan. Es wurde erwartet, dass im geprüften Sortenspektrum eine entsprechend hohe genetische Variabilität zur Bildung sekundärer Inhaltsstoffe vorhanden ist, so dass gezielt Sorten mit einem hohen Gehalt an gesundheitsfördernden, sekundären Inhaltsstoffen selektiert werden können bzw. hohe Gehalte an sekundären Inhaltsstoffen auch auf dem Wege der traditionellen Züchtung in einer Sorte etabliert werden können. Da gängige analytische Methoden wie z.B. HPLC allerdings sehr kosten- und zeitaufwändig sind (siehe Kapitel 3.7.1), und damit ein ausführliches Screening zahlreicher in der Züchtung eingesetzter Nachkommenschaften im Hinblick auf ihre Inhaltsstoffe ausschließen, wurde im Rahmen dieses Projektes der Einsatz eines optischen Sensors für das Screening der geprüften Hybriden, Sorten und Genotypen im Hinblick auf ihre Glucosinolatgehalte geprüft. Der Einsatz des Sensors soll damit die Einbindung wichtiger Selektionskriterien für alternative Züchtungsansätze ermöglichen. Da die Käufer von ökologisch erzeugten Produkten besonders gesundheitsbewusst sind, konnte bislang ein vielversprechendes Marktpotential hinsichtlich Züchtung und später Sortenwahl im Praxisanbau nicht ausgeschöpft werden.

### 4.4.1 Indizes des Multiplex®-Sensor

Die Multiplexdaten werden als dimensionslose Indizes, die verschiedene Wellenlängenbereiche abdecken, ausgegeben. Über die Wahl des Indizes und damit des Wellenlängenbereiches können so Rückschlüsse auf bestimmte Pflanzenzustände bzw. Inhaltsstoffe getroffen werden. Da es bisher keine Erkenntnisse zur Nutzung bestimmter Indizes zur Glucosinolatbestimmung in Brassica-Arten gibt, wurden zur Auswertung der Feldmessungen mit dem Multiplex®-Sensor zuerst alle Indizes im Statistikprogramm SAS über die Prozedur Proc corr korreliert. Dabei wurde deutlich, dass es signifikante Korrelationen auf Basis der Betrachtung innerhalb einzelner Genotypen gab, aber keine Korrelation über alle Genotypen und alle Anbauzeiträume möglich war. Die meisten Indizes zeigten teilweise signifikante Korrelationen mit einem der in den geprüften Brokkolisorten vorhandenen Glucosinolate. Aus dem Spektrum der gegebenen Multiplexindizes wurde der Index FER\_RUV als besonderes geeignet für die Glucosinolatbestimmung selektiert, da er bei drei Glucosinolaten über mehrere Genotypen signifikante Korrelationen mit einem Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0.5$  aufwies. Der Index FER\_RUV steht für Fluorescence Excitation Ratio und wird folgendermaßen berechnet:

$$\text{FER\_RUV} = \text{FRF\_R} / \text{FRF\_UV} \quad [1]$$

mit FRF\_R= Far Red Fluorescence, durch Anregung mit rotem Licht

FRF\_UV= Far Red Florescence, durch Anregung mit UV-Licht

Veränderungen im dunkelroten Bereich hängen oftmals mit Veränderungen der Lichtemission von Chlorophyll a zusammen (Buschmann und Lichtenthaler, 1998). Auf Basis der Fluoreszenz von Chlorophyll a war es in Studien von Gielen et al. (2006) ebenfalls möglich, *Brassica napus* L. Linien zu unterscheiden, was für eine genotypspezifische Reaktion auf eine induzierte Fluoreszenz spricht. Dies wurde durch die vorliegenden Daten ebenfalls bestätigt, da die gemessenen Indizes getrennt nach den einzelnen Genotypen besser korrelierten als alle Genotypen zusammen. Deshalb wurden die im Folgenden dargestellten Regressionen genotypspezifisch berechnet.

#### 4.4.2 Glucoraphaninbestimmung mittels Multiplex

Für Glucoraphanin (GRP) wurde als einzige Ausnahme der BGV-UV Index verwendet, da sich für den Index FER\_RUV bei einzelnen Genotypen negative, für andere Genotypen hingegen positive Korrelationen ergaben. Da in der Blume für Glucoraphanin der höchste Korrelationskoeffizient erzielt werden konnte, wurde bezüglich der Korrelation von Glucoraphanin mit dem Index BGV\_UV eine Aufteilung nach Sorten/Genotypen sowie Zeitpunkten vorgenommen. Tabelle 19 zeigt den jeweilige Pearson'schen Korrelationskoeffizienten für einige ausgewählte Sorten/Genotypen.

**Tabelle 19: Pearson'scher Korrelationskoeffizient für einige ausgewählte Sorten/Genotypen im Hinblick auf ihren Glucoraphaningehalt und den BGV-Index.**

| Sorte/Genotyp        | Glucoraphanin |
|----------------------|---------------|
| „Marathon“           | 0,74552       |
| „CHE-BAL-1“          | 0,75          |
| „CHE-MIC-1“          | -0,149        |
| „TH-CAN-FS-18“       | 0,51517       |
| „Ramoso Calabrese“   | 0,60208       |
| Alle Sorten zusammen | 0,48529       |

#### 4.4.3 Glucobrassicinbestimmung mittels Multiplex

Die linearen Regressionen zwischen dem GBS-Gehalt und dem Multiplex Index FER\_RUV wiesen sortenspezifisch ein Bestimmtheitsmaß zwischen 0,27 und 0,51 auf (Abbildung 27 und Abbildung 28).

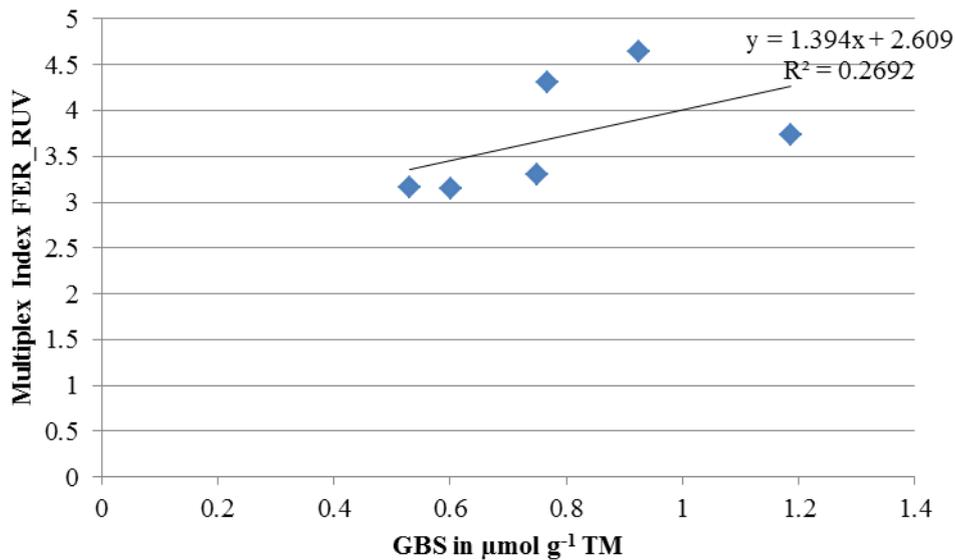


Abbildung 27: XY-Plot mit linearer Regression des Glucobrassicinhalts [ $\mu\text{mol g}^{-1}\text{ TM}$ ] und des Multiplex Index FER\_RUV für Belstar F1 [2].

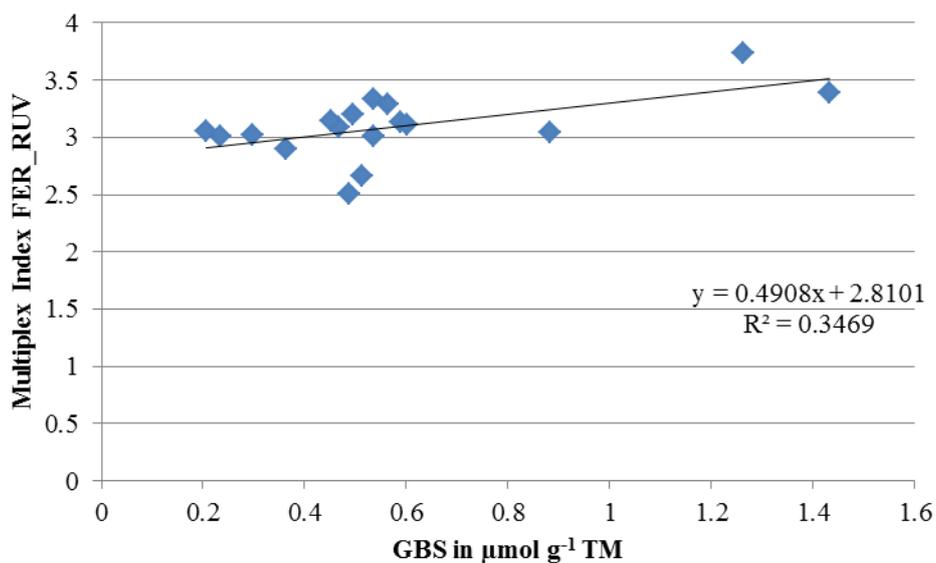


Abbildung 28: XY-Plot mit linearer Regression des Glucobrassicinhalts [ $\mu\text{mol g}^{-1}\text{ TM}$ ] und des Multiplex Index FER\_RUV für Genotyp `CN-COA` [21].

#### 4.4.4 4-Methoxyglucobrassicinbestimmung mittels Multiplex

Die linearen Regressionen zwischen dem MET-Gehalt und dem Multiplex Index FER\_RUV wiesen in Abhängigkeit der geprüften Sorten ein Bestimmtheitsmaß zwischen 0,28 und 0,89 auf (Abbildung 29, Abbildung 30, Abbildung 33). Für die linearen Regressionen wurden nur die Genotypen ausgewählt bei denen ein Korrelationsmaß von 0,5 mit signifikanter Korrelation vorlag.

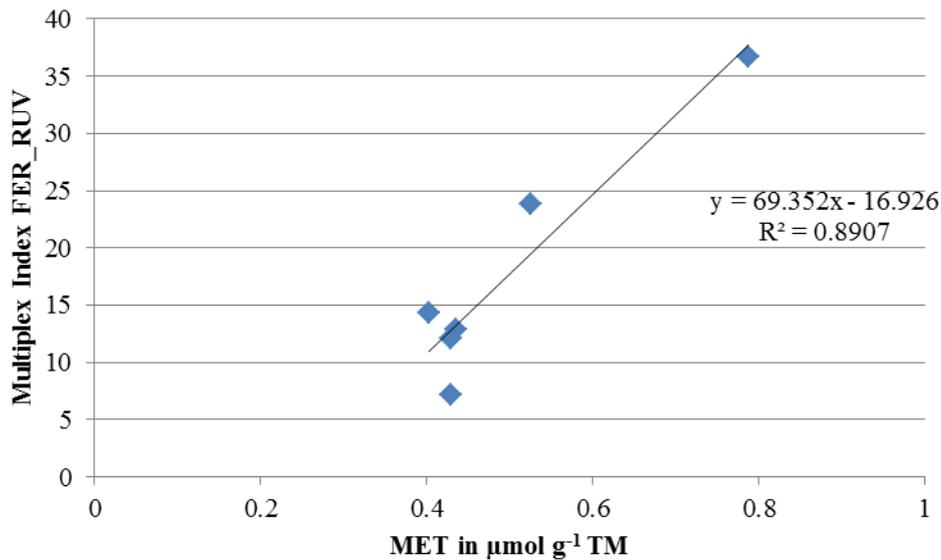


Abbildung 29: Abb.XX: XY-Plot mit linearer Regression des 4-Methoxyglucobrassicinergehalts [ $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM] und des Multiplex Index FER\_RUV für Genotyp `CHE-LIM` (10).

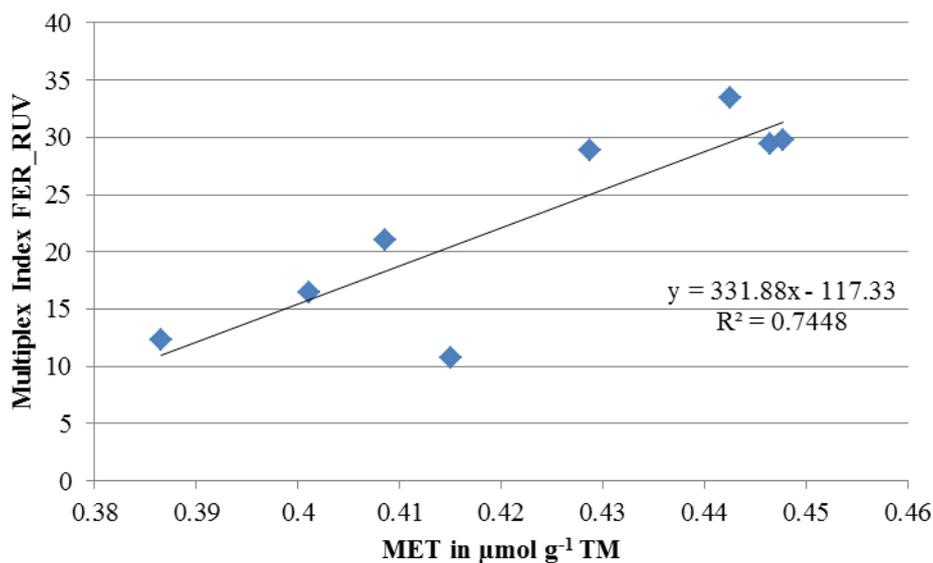
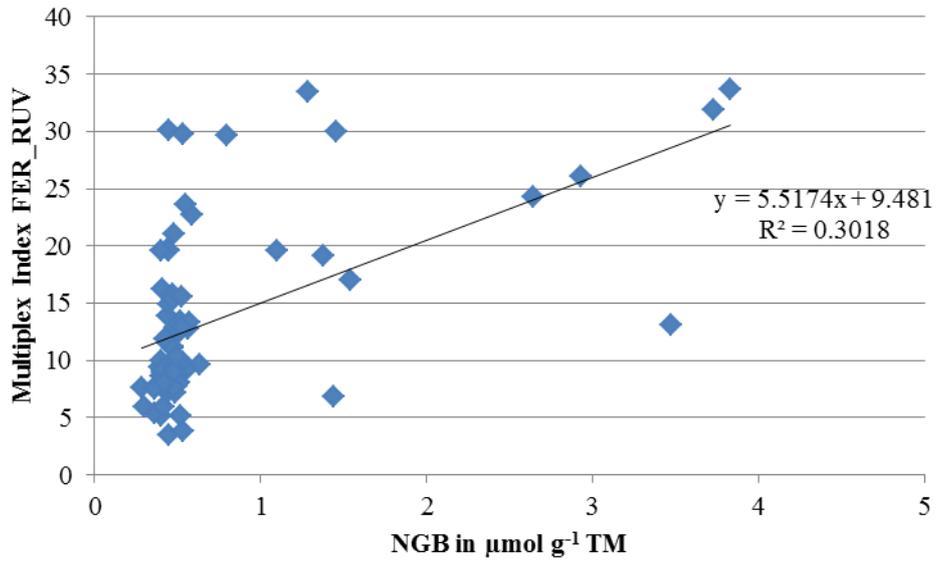
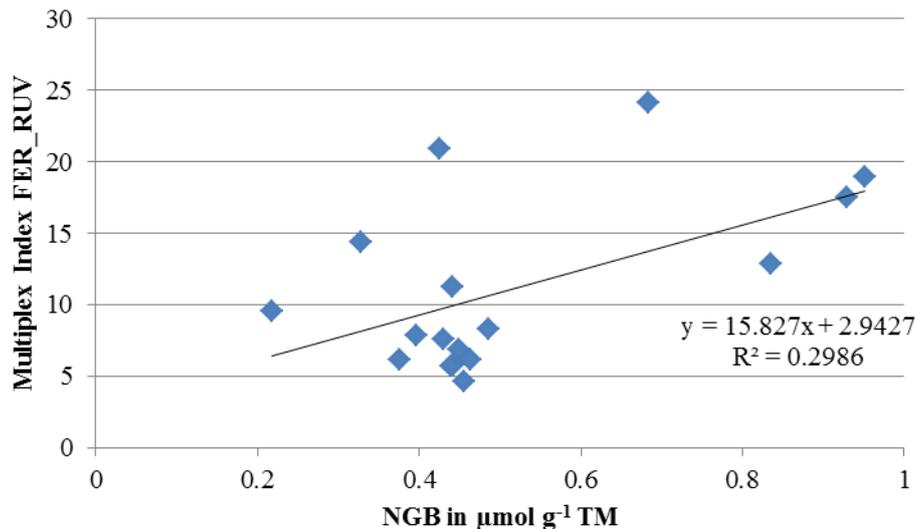


Abbildung 30: XY-Plot mit linearer Regression des 4-Methoxyglucobrassicinergehalts [ $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM] und des Multiplex Index FER\_RUV für Genotyp `CHE-CAL` (20).

#### 4.4.5 1-Methoxyglucobrassicin

Die linearen Regressionen zwischen dem NGB-Gehalt und dem Multiplex Index FER\_RUV hatten ein Bestimmtheitsmaß zwischen 0,22 und 0,30 und wiesen damit in allen Glucosinoalten das geringste Bestimmtheitsmaß auf (Abbildung 31 und Abbildung 32). In weiteren Studien muss geprüft werden, ob andere Indizes ähnlich wie im Falle von Glucoraphanin hier zu höheren Bestimmtheitsmaßen führen können.





**Abbildung 33: XY-Plot mit linearer Regression des 1-Methoxyglucobrassicin-Gehalts [ $\mu\text{mol g}^{-1}$  TM] und des Multiplex Index FER\_RUV für Genotyp 'CN-COA' [21].**

Zusammenfassend kann daher in einem gewissen Bereich der Multiplex-Sensor für die Bestimmung der Einzelglucosinolate eingesetzt werden zu können. Insbesondere für die indolischen Glucosinolate konnten sortenspezifisch enge Regressionen erarbeitet werden. Ein Einsatz des Multiplexsensors erscheint aber erst ab Erscheinen der Blumen bzw. ab einem Blumendurchmesser  $> 5$  cm möglich, um verlässliche Schätzungen der in der Blume final enthaltenen Einzelglucosinolate treffen zu können. Der Einsatz des Multiplexsensors im Jungpflanzenstadium erscheint nicht als sinnvoll, da keine Rückschlüsse vom Glucosinolatgehalt im Blatt auf die späteren Glucosinolategehalte in der Blume getroffen werden können. Mögliche Ursache hierfür sind klimatische und entwicklungsphysiologische Effekte im Zeitraum bis zur Ernte, die relevante Einflussgrößen darstellen könnten (Schreiner, 2005; Vallejo et al., 2003).

Darüber hinaus ist in weiteren Studien zu prüfen, ob eine Kombination verschiedener Indizes, wie BGF\_UV und FRF\_UV mit FER\_RUV, mit Kopplung einer Kalibrationssoftware, wie sie bei NIRS zum Einsatz kommt, eine Stärkung der Aussagekraft und eine Verfeinerung des Analyseprozesses darstellen. Weiterführende Forschungen sind erstrebenswert, da der Multiplex-Sensor nicht nur eine zeitliche Beschleunigung des Selektionsprozesses auf einen hohen Glucosinolatgehalt ermöglichen kann, sondern auch eine aufwändige Probenahme und Analyse der Brokkoliblumen erspart. Im Gegensatz zur Analysen mit NIRS, die an gefriergetrockneten Probenmaterial durchgeführt werden müssen, können mit dem Multiplex® zerstörungsfreie Analysen im Feld durchgeführt werden. Im Rahmen des vorliegenden Projektes zeigten sich erste Ansätze, die jedoch systematisch auch bei anderen Kulturarten weiterverfolgt werden sollten. Bei einer Kalibration des Multiplex über mehrere Zeiträume, eventuell auch Sorten- bzw. Zuchtlinienspezifisch, können Aussagen mit einer sehr geringen Probenanzahl, die im Labor analysiert werden müsste, getroffen werden und es würden nur einmalige Kosten des Kaufs des Gerätes entstehen. Auch könnte

der Multiplex bei anderen Kohlgewächsen, die die gleichen Glucosinolaten aufweisen, eingesetzt werden.

## 4.5 Humansensorische Tests

### 4.5.1 Verkostung durch ein hedonisches Panel

Neben agronomischen Parametern wie Anzahl marktfähiger Blumen, Blumengewicht und Blumenaufbau spielen der Geschmack und die Kocheigenschaften eine wesentliche Rolle für den Erfolg einer Brokkoli-Sorte auf dem Markt. Im Rahmen des Projektes wurden mehrere Verkostungen durchgeführt. Dabei wurden einerseits an der Universität Hohenheim hedonische, d.h. ungeschulte Verbraucher-Panels eingesetzt, um bewusst die Reaktion potentieller Verbraucher zu testen, andererseits wurde am Max-Rubner-Institut ein geschultes Panel genutzt, um ein systematisches Screening der Brokkoli-Sorten durchzuführen. Grundsätzlich muss davon ausgegangen werden, dass höhere Glucosinolatgehalte mit bitterem Geschmack einhergehen, was z.B. für die unerwünschten Glucosinolate Singrin (Heaney et al., 1980, Carlson et al., 1987, Fenwick et al., 1990,) und Progroitrin (Fenwick et al., 1990, Heaney et al., 1980) sowie Glucobrassicin (Carlson et al., 1987) dokumentiert wurde. Bitterer Geschmack wird von Handel und Verbrauchern abgelehnt (Drewnowski und Gomez-Carneros, 2000), so dass bei hohen Glucosinolatgehalten mit einer geringeren Verbraucherakzeptanz zu rechnen ist.

Insgesamt fanden an der Universität Hohenheim zwei Verkostungen mit hedonischen Panels statt, die in jedem Durchlauf aus unterschiedlichen Personen bestanden. Im Rahmen dieser hedonischen Verkostungspanels wurden die Brokkoliblumen im rohen und gekochten Zustand verkostet. Bei den verschiedenen Geschmacksrichtungen (süß, nussig, kohlig, scharf, bitter und fremd) und der Beliebtheit ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Genotypen und Sorten (Tabelle 20). Die Einteilung in positiv und negativ assoziierte Geschmacksrichtungen wurde anhand der Zuordnung bzw. des Grades der Beliebtheit bei einer starken Ausprägung dieser Geschmacksrichtung vorgenommen. So waren beispielsweise Genotypen mit einem süßen, nussigen, kohligem und aber auch scharfem Geschmack oftmals am beliebtesten. Die Verbraucher mussten darüber hinaus auch einen Gesamteindruck abgeben, in den auch Farbe und Mundgefühl einfließen. Genotypen, die einen stark bitteren oder fremden Geschmack aufwiesen, waren oft auch Gesamteindruck eher unbeliebt. Des Weiteren gab es teilweise deutliche Unterschiede in der Einschätzung zwischen rohem und gekochtem Zustand.

**Tabelle 20: Ergebnisse der Verkostung verschiedener Brokkoli-Genotypen und –sorten im Jahr 2012 an der Uni Hohenheim mit einem hedonischen Panel; Pfeile stehen für ↑ hohe und ↓ niedrige Ausprägungen dieses Merkmals; Kleinbuchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede für  $p < 0,05$ .**

| Verkostung 2012                                 |                          |                                    |                          |                                       |
|---|--------------------------|------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
|   | Roh                      |                                    | Gekocht                  |                                       |
|   | ↑                        | ↓                                  | ↑                        | ↓                                     |
| <b>Beliebtheit</b>                              | KSV-BRO-CN -<br>COA {a}  | Monterey {b}                       | KSV-BRO-CHE<br>MIC {a}   | Ramoso {b}                            |
| <b>Positiv assoziierte Geschmacksrichtungen</b> |                          |                                    |                          |                                       |
| süß   | KSV-BRO-CN<br>COA {a}    | KSV-BRO-CHE<br>MIC + Ramoso<br>{b} | KSV-BRO-CN-<br>COA {a}   | Ramoso {a}                            |
| nussig  | Ramoso {a}               | KSV-BRO-CHE-<br>MIC {a}            | KSV-BRO-CHE-<br>MIC {a}  | Monterey {b}                          |
| kohlartig                                       | KSV-BRO-CHE -<br>MIC {a} | Ramoso {a}                         | KSV-BRO-CN-<br>COA {a}   | Monterey {a}                          |
| scharf  | KSV-BRO-CN -<br>COA {a}  | Monterey {b}                       | KSV-BRO-CHE -<br>GRE {a} | Ramoso {a}                            |
| <b>Negativ assoziierte Geschmacksrichtungen</b> |                          |                                    |                          |                                       |
| bitter  | Monterey {a}             | KSV-BRO-CN-<br>COA {b}             | KSV-BRO-CN -<br>COA {a}  | KSV-BRO-CHE-<br>MIC + Monterey<br>{a} |
| fremd   | Monterey {a}             | KSV-BRO-CHE -<br>MIC {b}           | KSV-BRO-CHE -<br>GRE {a} | KSV-BRO-CHE -<br>MIC {a}              |

Bei der Verkostung im Jahr 2012 war der Genotyp `KSV-BRO-CN-COA` mit Abstand die beliebteste Variante. Er zeichnete sich durch einen süßen, etwas scharfen und wenig bitteren Geschmack aus. Die Hybride `Monterey F1` war in rohem Zustand eher unbeliebt. Sie wies einen starken Fremdgeschmack mit einer bitteren Note auf. Interessant war, dass sie, obwohl sie bitter schmeckte, wenig scharf war. Der Geschmack bitter tritt oftmals als Nachgeschmack auf, da er im hinteren Teil der Mundhöhle wahrgenommen wird. Der Geschmack scharf kann somit abgegrenzt werden, da er über die Zunge wahrgenommen wird. So ist eine Unterscheidung der Geschmacksrichtungen möglich (Fenwick et al., 1990). Glucosinolate schmecken bitter, so dass davon auszugehen ist, dass bitter schmeckende Genotypen auch hohe Glucosinolat-Gehalte aufweisen – diese Geschmackseigenschaft stieß jedoch auch in diesen Panels auf Ablehnung bei den Konsumenten, wie bereits von Drewnowski und Gomez-Carneros (2000) beschrieben.

In gekochtem Zustand zeichnete sich der Genotyp `KSV-BRO-CHE-MIC` durch einen angenehmen, nussigen, wenig bitteren und wenig fremden Geschmack aus, was zu einer hohen Beliebtheit führte. `Ramoso`, eine samenfeste Sorte, war gekocht am unbeliebtesten. Sie hatte einen wenig ausgeprägten süßen und scharfen Geschmack.

Die Sorte `Monterey` hatte gekocht ihren bitteren Geschmack teilweise verloren, was auf einen Abbau der Glucosinolate beim Kochen hindeuten könnte (Yuan et al., 2009, Jones et al. 2010). `KSV-BRO-CN-COA` behielt den süßen Geschmack beim Kochen, hatte aber interessanterweise vergleichsweise hohe Werte beim Geschmack bitter und kohlartig im gekochten Zustand (Tabelle 21).

**Tabelle 21: Ergebnisse der Verkostung verschiedener Brokkoli-Genotypen und –sorten im Jahr 2013 an der Uni Hohenheim mit einem hedonsichen Panel; Pfeile stehen für ↑ hohe und ↓ niedrige Ausprägungen dieses Merkmals; Kleinbuchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede für  $p < 0,05$ .**

| Verkostung 2013                                 |                                |                        |                       |                        |
|---|--------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|
|   | Roh                            |                        | Gekocht               |                        |
| <b>Beliebtheit</b>                              | Batavia {a} ↑                  | KSV-BRO-CHE-GEBA {a} ↓ | KSV-BRO-CHE-MIC {a} ↑ | KSV-BRO-CHE-GEBA {b} ↓ |
| <b>Positiv assoziierte Geschmacksrichtungen</b> |                                |                        |                       |                        |
| süß   | Batavia + KSV-BRO-CHE-GEBA {a} | KSV-BRO-CHE-MIC {a}    | KSV-BRO-CHE-MIC {a}   | KSV-BRO-CHE-GEBA {a}   |
| nussig  | KSV-BRO-CHE-MIC {a}            | KSV-BRO-CHE-GEBA {a}   | KSV-BRO-CHE-MIC {a}   | Batavia {a}            |
| kohlartig                                       | Batavia {a}                    | KSV-BRO-CHE-GEBA {a}   | Batavia {a}           | KSV-BRO-CHE-GEBA {b}   |
| scharf  | KSV-BRO-CHE-GEBA {a}           | Batavia {a}            | Batavia {a}           | KSV-BRO-CHE-MIC {b}    |
| <b>Negativ assoziierte Geschmacksrichtungen</b> |                                |                        |                       |                        |
| bitter  | KSV-BRO-CHE-MIC {a}            | Batavia {b}            | Batavia {a}           | KSV-BRO-CHE-MIC {b}    |
| fremd   | KSV-BRO-CHE-GEBA {a}           | Batavia {a}            | KSV-BRO-CHE-GEBA {a}  | KSV-BRO-CHE-MIC {a}    |

Bei den Verkostungen im Jahr 2013 waren in rohem Zustand die Hybride `Batavia F1` am beliebtesten und die samenfeste Sorte `KSV-BRO-CHE-GEBA` am unbeliebtesten. `Batavia F1` zeichnete sich durch einen süßen, kohlartigen Geschmack, war nicht bitter und wies kaum Fremdgeschmack auf. `KSV-BRO-CHE-GEBA` hatte einen wenig kohlartigen und wenig nussigen Geschmack. Es wurde zudem ein starker Fremdgeschmack mit ihr assoziiert. Dieser Fremdgeschmack erhielt sich auch beim Kochen und in Kombination mit einem wenig süßen und wenig kohlartigen Geschmack war `KSV-BRO-CHE-GEBA` auch in gekochtem Zustand am unbeliebtesten. `KSV-BRO-CHE-MIC`, der samenfeste Genotyp, der im Jahr 2012 in gekochtem Zustand am beliebtesten war, hatte auch im Jahr 2013 den höchsten Beliebtheitsgrad in gekochtem Zustand. Er hatte einen süßen, nussigen, wenig scharfen, kaum bitteren und nur wenig fremden Geschmack. Interessanterweise liegt dieser Genotyp,

ebenso wie Batavia, bei den Glucosinolat-Gehalten im mittleren Bereich (Tabelle 14). Zwar ist der Gehalt an Glucoraphanin in `KSV-BRO-CHE-GEB` mit  $1,01 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM etwas höher als `KSV-BRO-CHE-MIC` ( $0,91 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM), bei den anderen Glucosinolaten unterschieden sich die Werte zwischen den beiden Genotypen nicht. Möglicherweise maskierten andere Inhaltsstoffe den bitteren Geschmack.

Der Geschmack schwefelig, sauer, aber auch scharf wird mit einem hohen Glucosinolatgehalt in Verbindung gebracht, was zu einer niedrigen Beliebtheit führen kann. Ebenso wird berichtet, dass ein süßer Geschmack und ein niedriger Glucosinolatgehalt wohlschmeckend sind (Hansen, 1996). Dies kann mit den vorliegenden Ergebnissen teils untermauert werden. So war der Genotyp `CHE-MIC` bei den Verkostungen in gekochtem Zustand am Beliebtesten und hatte einen Glucosinolatgehalt im mittleren Bereich für Glucoraphanin und im unteren Bereich bei den indolischen Glucosinolaten, wie Glucobrassicin, 1-Methoxyglucobrassicin und 4-Methoxyglucobrassicin. Auch der Genotyp `CN-COA`, der im rohen Zustand teils sehr beliebt war, hatte niedrige Gehalte an indolischen Glucosinolaten. Die Hybride Monterey F1 hatte teilweise einen bitteren Geschmack und Glucosinolatgehalte im mittleren Bereich, bei 1-Methoxyglucobrassicin teilweise auch im oberen Bereich. So bleibt festzuhalten, dass der bittere Geschmack vorrangig durch die indolischen Glucosinolate verursacht sein könnte. So kann auch erklärt werden, dass `Monterey` nach dem Kochen sehr beliebt war, da die indolischen Glucosinolate zu einem größeren Anteil ins Kochwasser übergehen, als die aliphatischen (Vallejo et al., 2002).

Um einen wohlschmeckenden Brokkoli zu züchten, ist daher es wichtig, Verkostungen in rohem und gekochtem Zustand durchzuführen, da sich die Geschmackseigenschaften verändern können. Ein Brokkoli, wie beispielsweise `CN-COA`, der roh eine hohe Beliebtheit hatte, schmeckte in gekochtem Zustand etwas fade und nicht mehr so intensiv. Andere Brokkolisorten hatten in rohem Zustand einen zu starken bitteren Geschmack, der durch den Kochprozess teilweise verloren ging. Zu bemerken ist allerdings, dass der süße Geschmack, der sich auch in rohem Zustand zeigte, ein wichtiges Attribut für die Beliebtheit an sich darstellt. Da sich die Rankings im hedonischen Panel für die gekocht und die roh verkosteten Sorten sehr stark unterschieden, kann aus dem zur Verfügung stehenden Genotypenpool nur schwer eine Sorte entwickelt werden, die sowohl in gekochtem als auch in rohem Zustand die Verbrauchererwartungen vollständig erfüllt. Da Brokkoli in Deutschland vor allem in gekochtem Zustand konsumiert wird, sollten bei der Selektion der Genotypen vor allem die Rankings der Verkostungen der gekochten Produkte berücksichtigt werden.

#### 4.5.2 Verkostung durch ein geschultes Panel

Am Max-Rubner Institut wurden die Brokkoliblumen aller Genotypen, die in den Jahren 2011 und 2012 angebaut wurden, von max. 10 geschulten Personen in gekochtem Zustand verkostet. `Monterey F1` wies in den Verkostungen im Jahr 2011 einen hohen Beliebtheitsgrad auf. Er zeichnete sich durch einen süßen und nussigen Geschmack aus. Der Genotyp `KSV-BRO-CHE-GRE` war am unbeliebtesten, allerdings ließ sich kein Zusammenhang zu den Geschmacksrichtungen ermitteln (Tabelle 22).

**Tabelle 22: Ergebnisse der Verkostung verschiedener Brokkoli-Genotypen und –sorten im Jahr 2011 am Max-Rubner Institut mit einem professionellen Panel, Pfeile stehen für ↑ hohe und ↓ niedrige Ausprägungen dieses Merkmals; Kleinbuchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede für  $p < 0,05$ .**

| Verkostung 2011                                 |               |               |
|---|---------------|---------------|
|   | ↑             | ↓             |
| <b>Beliebtheit</b>                              | Monterey      | KSV-CHE-GRE-1 |
| <b>Positiv assoziierte Geschmacksrichtungen</b> |               |               |
| süß   | Monterey      | Miranda       |
| nussig  | Marathon      | Miranda       |
| kohlartig                                       | KSV-CHE-ATL-1 | KSV-CHE-GEB-1 |
| harmonisch                                      | Batavia       | KSV-CN-PRI-1  |
| <b>Negativ assoziierte Geschmacksrichtungen</b> |               |               |
| bitter  | Ironman       | Miranda       |
| fremd   | KSV-CHE-GEB-1 | Miranda       |

Auffallend war, dass die samenfeste Sorte `Miranda` an sich einen wenig ausgeprägten Geschmack aufwies. Sie war wenig süß, nussig und auch wenig fremd oder bitter schmeckend. Die Sorte weist in rohem Zustand eine lila Farbe auf, die sie aber beim Kochprozess verliert. Dies hängt mit wahrscheinlich mit dem Verlust an Anthocyanen zusammenhängen. Nach dem Kochen hatte sie eine hellgrüne Farbe und ähnelte im Geschmack eher Blumenkohl.

**Tabelle 23: Ergebnisse der Verkostung verschiedener Brokkoli-Genotypen und –sorten im Jahr 2012 am Max-Rubner Institut mit einem professionellen Panel, Pfeile stehen für ↑ hohe und ↓ niedrige Ausprägungen dieses Merkmals; Kleinbuchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede für  $p < 0,05$ .**

| Verkostung 2012                                 |                         |                                  |
|---|-------------------------|----------------------------------|
|   | ↑                       | ↓                                |
| <b>Beliebtheit</b>                              | KSV-TH-CAN-FS18         | KSV-CN-COA-1                     |
| <b>Positiv assoziierte Geschmacksrichtungen</b> |                         |                                  |
| süß   | Limba                   | Batavia                          |
| nussig  | KSV-TH-CAN-FS18         | Limba                            |
| kohlartig                                       | Batavia                 | KSV-CN-COA-1                     |
| harmonisch                                      | KSV-TH-CAN-FS18         | KSV-CN-COA-1                     |
| <b>Negativ assoziierte Geschmacksrichtungen</b> |                         |                                  |
| bitter  | Batavia<br>KSV-CN-COA-1 | KSV-CHE-BAL-1<br>KSV-TH-CAN-FS18 |
| fremd   | KSV-CN-COA-1            | KSV-TH-CAN-FS18                  |

Bei der Verkostung im Jahr 2012 zeigte der samenfeste Genotyp `TH-CAN-FS18` mit einem nussigen, harmonischen, wenig bitteren und wenig fremden Geschmack einen hohen Beliebtheitsgrad (Tabelle 23). Der Genotyp `CN-COA` wurde vom Panel als nicht harmonisch, wenig kohlig, bitter mit fremden Geschmack eingestuft und schnitt im Gesamtranking daher am schlechtesten ab. Hier lässt sich eine Parallele zu der Verkostung an der Universität Hohenheim ziehen. Auch hier hatte `CN-COA` in gekochtem Zustand einen bitteren Geschmack, allerdings wurde er in Hohenheim als stark kohlig schmeckend gewertet.

Abschließend ist zu sagen, dass im gekochten Zustand, wie es auch für den Verbraucher am relevantesten sein dürfte, der samenfeste Genotyp `CHE-MIC` bei den Verkostungen über beide Jahre bei den Konsumentenpanels am beliebtesten war. Bei den professionellen Panels war in einem Jahr die Hybride `Monterey F1` am beliebtesten, im nächsten Jahr lag der samenfeste Genotyp `TH-CAN-FS18` jedoch auf der Beliebtheitskala ganz oben. Für den Genotyp `CN-COA` lässt sich keine konkrete Aussage treffen, da er roh sehr beliebt war, in gekochtem Zustand beim professionellen Panel jedoch sehr weit unten angesiedelt war. Weitere Verkostungen, wie sich die Zusammensetzung der Geschmacksrichtungen beim Kochprozess ändern, scheinen somit notwendig. Die positive Bewertung KSV-BRO-CHE-MIC` in den Verbraucherpanels ist daher ein gute Grundlage, um diesen schmackhaften Genotyp bis zur Sortenerkennung weiterzuentwickeln.

#### **4.6 On-Farm Versuche und Brokkoli-Workshop**

Auf drei ökologisch bewirtschafteten Betrieben in der Nähe von Stuttgart wurden im Herbst 2013 Praxisversuche mit den vielversprechendsten Genotypen von Kultursaat e.V. durchgeführt. Vor Versuchsbeginn wurden Interviews mit den Landwirten durchgeführt, um Informationen über die Motivation am Brokkoli-Projekt teilzunehmen und dem Kenntnisstand der Landwirte über die ökologische Züchtung bzw. die Erfahrung mit Sorten aus ökologischer Züchtung zu erhalten. Die Landwirte bildeten dabei exemplarisch die verschiedenen Vermarktungsschienen von Brokkoli ab: Großhandel, Hofladen und Abokiste. Die Motivation zur Teilnahme an den Praxis-Versuchen war unterschiedlich und reichte von starkem Eigeninteresse an Züchtung für den ökologischen Landbau bis zu einer Reaktion auf Anfragen von Abnehmern aus der Lebensmittelverarbeitung (biologisch-dynamisch) nach Produkten aus samenfesten Sorten. Alle Landwirte hatten bereits Erfahrung mit dem Anbau von samenfesten Sorten. Ihre Erfahrungen mit dem Anbau der Genotypen brachten die Landwirte in den Workshop ein, der im Herbst 2013 an der Universität Hohenheim stattfand. Neben den Landwirten nahmen verschiedenen Akteure in der Produktionskette ökologischer Lebensmittel teil: führende Mitarbeiter zweier Öko-Großhändler, Gemüsebau-Berater der Öko-Anbauverbände, Züchter von Kultursaat e.V., Wissenschaftler und Mitarbeiter der Universität Hohenheim sowie andere interessierte Landwirte und Gärtner teil.

Im Rahmen des Workshops wurden die aktuell angebauten Sorten bewertet und anschließend roh und gekocht verkostet, wobei von einem Mitarbeiter des Max-Rubner-Institutes eine Einführung in die Humansensorik gegeben wurde.

Die zum damaligen Zeitpunkt angebauten Genotypen wurden von den Landwirten folgendermaßen bewertet: die samenfesten Genotypen waren inhomogener und pflegeintensiv bzw. reagierten empfindlicher auf Umwelteinflüsse/Anbaubedingungen. Die größten Probleme waren dabei die relativ hohe Anzahl an Frühblühern und die oft lockeren, großkörnigen Blumen. Die Genotypen wurden durchgängig als problematisch für den Sommeranbau gesehen. Es gab zum Teil den Wunsch nach einem langen Anbauzeitraum, so dass die Pflanzen eine gute Blattmasse ausbilden können, die unter ökologischen Bedingungen eine gute Versorgung der Pflanze sicherstellen kann. Von Seiten der Anbauberater kam vor allem der Wunsch nach weiteren Versuchen, da mit den bisherigen Versuchen noch nicht auf den Praxisanbau geschlossen werden kann. Laut den Vertretern des Handels sind bei den Konsumenten Geschmack und gesundheitliche Aspekte gefragt. Bei den samenfesten Genotypen wurde das bisher unbekannte Verhalten während der Lagerung als problematisch gesehen. Für den Feinkostbereich wurde der Wunsch nach Vielfalt geäußert, der durch die die Genotypen abgedeckt werden könnte. Allerdings ist dieser Marktanteil sehr klein und Probleme beim Handling wären zu erwarten. Die Vertreter des Großhandels sahen außerdem den Bedarf an Marketingstrategien, um den Gesundheitswert des Produktes zu kommunizieren. In diesem Zusammenhang wurde auch der Wunsch nach Informationsnetzwerken und Infomaterial für Verbraucher und Einzelhändler geäußert.

Alle Teilnehmer des Workshops waren der Ansicht, dass es einerseits mit entsprechenden Kommunikationsstrategien möglich ist, samenfeste Sorten zu vermarkten, auch wenn deren Aussehen mit dem der momentan genutzten Hybriden identisch ist. Andererseits wurde für die vorliegenden Genotypen noch Züchtungsbedarf hinsichtlich der Blumenqualität, der Erntefenster und der Anbauzeiträume gesehen.

## **5. Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse**

Während des Projektes erfolgte eine enge Zusammenarbeit mit den On-Farm-Züchtern hinsichtlich der Bewertung der einzelnen Zuchtlinien. Um die Bewertung der einzelnen zu prüfenden Genotypen durch die On-Farm-Züchter zu erleichtern, wurde eine Gesamtübersicht aller Genotypen in Form eines Rankings erstellt, in dem die die Stärken und Schwächen der Genotypen aufgezeigt werden. Für die Betrachtung der einzelnen Genotypen wurde eine Steckbriefform entwickelt, um ein schnelle Übersicht zu ermöglichen. Auf Grund der dargelegten Ergebnisse wurden erste Empfehlungen zur Genotypenwahl gegeben (Tabelle 24).

Trifft man eine Auswahl ausgehend von dem Attribut einen wohlschmeckenden Geschmack zu erreichen, heben sich zwei Genotypen in den Vordergrund. Zum einen `TH-CAN-FS18`, der beim professionellen Panel sehr gut abschnitt und zum anderen `CHE-MIC`, der an beiden Verkostungen des Konsumentenpanels am beliebtesten war. Betrachtet man als weiteren Aspekt den Gehalt an gesundheitsförderlichen Aspekten, hat `CHE-MIC` generell etwas niedrigere Gehalte als `TH-CAN-FS18`. So hatte `TH-CAN-FS18` hohe Werte beim wasser- und lipidlöslichen antioxidativen Potenzial, als auch hohe Werte bei den Glucosinolaten Glucoraphanin, Glucobrassicin und 4-Methoxyglucobrassicin und mittlere Werte bei 1-Methoxyglucobrassicin. `CHE-MIC` hingegen hatte zwar hohe Gehalte an wasserlöslichen Antioxidantien, aber nur mittlere bei den lipidlöslichen Antioxidantien. Bei Glucoraphanin und 1-Methoxyglucobrassicin lagen die Werte im mittleren Bereich, bei Glucobrassicin und 4-Methoxyglucobrassicin im oberen Bereich. Wird als letzter Aspekt die Blumenqualität mit in Betracht gezogen, war festzustellen, dass beide ein hohes Blumengewicht und einen hohen Blumendurchmesser erreichen können, `TH-CAN-FS18` jedoch eine niedrige Blumenfestigkeit aufweist, `CHE-MIC` hingegen jedoch eine hohe.

Für die Züchtung könnte es nun von empfehlenswert sein, bei `TH-CAN-FS18` auf eine höhere Blumenfestigkeit zu achten, da in diesem Genotyp ein großes Potenzial für eine wohlschmeckende und sehr gesunde Sorte steckt.

`CHE-MIC` kann durch seine guten agronomischen Eigenschaften schon als vergleichsweise ebenbürtig mit den gängigen Hybridsorten gesehen werden. Generell reagieren die Genotypen etwas stärker auf externe Faktoren, wie beispielsweise schnell steigende Temperaturen, und sind auch im Bestand inhomogener, was sich an den größeren Standardfehlern sowohl des Blumengewichts als auch der Inhaltsstoffe festmachen lässt. Dennoch kann ein Anbau, besonders im zeitigen Frühjahr und späten Herbst, empfohlen werden, da die samenfesten Genotypen mit kühlen Temperaturen vergleichsweise gut zurechtkommen und keine so stark verzögerte Blumenbildungsphase bei kühlen Temperaturen wie die Vergleichshybriden hatten. Auch kann die schnellere Entwicklung für eine intensiviertere Fruchtfolge von Vorteil sein, da mehr Sätze in einem Jahr angebaut werden können. Allerdings ist zu beachten, dass die Erntephase etwa zwei Wochen länger andauert, wie bei den Hybridsorten, es also mehrere Erntedurchgänge erfordert, um die Blumen im richtigen Stadium zu ernten. Eine weitere Beobachtung war, dass die Brokkoliblumen im Vergleich zu den Hybridsorten deutlich schneller in die Blütenbildungsphase übergehen, was zum einen zu Vorblühern führen kann und zum anderen eine zeitgerechte Ernte erfordert.

Aus dem geprüften Sortenspektrum konnten damit im Verlauf der drei Projektjahre die Sorten CHE-MIC und dessen Nachkommen als auch TH-CAN-FS18 als besonders anbauwürdig im Ökologischen Landbau empfohlen werden. Auch das Ziel offenblühende Brokkolilinen zu entwickeln, die verschiedenen Ansprüchen innerhalb der Produktionskette gerecht werden, konnte berücksichtigt werden.

Tabelle 24: Erfasste Parameter der Hybridsorten und samenfesten Genotypen im Vergleich zueinander. + steht für eine schwache, ++ für eine mittlere und +++ für eine starke Ausprägung dieses Attributs.

| Genotyp / Sorte    | Blattfläche [cm <sup>2</sup> ] | Blumengewicht [g] | Blumendurchmesser [cm] | Blumenfestigkeit | Geschmack           | GRP        | GBR        | MET        | NGB       |
|--------------------|--------------------------------|-------------------|------------------------|------------------|---------------------|------------|------------|------------|-----------|
| Batavia F1         | ++                             | +++               | +++                    | +++              | roh +               | ++         | ++         | +++        | +++       |
| Belstar F1         | ++                             | +++               | ++                     | +++              |                     | +++        | +++        | ++         | ++        |
| Marathon F1        | +++                            | ++                | ++                     | +++              |                     | +++        | +++        | +++        | +++       |
| Monterey F1        | ++                             | +++               | ++                     | ++               | roh - gekocht +     | ++         | ++         | +++        | +++       |
| Ironman F1         | ++                             | ++                | ++                     | +++              |                     | +++        | ++         | +++        | +++       |
| Miranda            | +                              | ++                | +                      | +                |                     | +++        | +++        | +++        | ++        |
| Ramoso             | ++                             | ++                | ++                     | +++              | gekocht -           | ++         | +++        | +++        | ++        |
| Limba              | ++                             | ++                | ++                     | +                |                     | +++        | +          | +++        | ++        |
| CHE-BAL            | ++                             | +++               | ++                     | +++              |                     | ++         | ++         | +++        | +++       |
| CHE-LIM            | ++                             | ++                | +++                    | +                |                     | +++        | +++        | +++        | ++        |
| CHE-GEB            | ++                             | ++                | ++                     | ++               | roh - gekocht -     | ++         | +++        | +++        | +++       |
| CHE-GRE            | ++                             | ++                | ++                     | +++              | gekocht -           | +++        | +++        | +++        | ++        |
| <b>CHE-MIC</b>     | <b>++</b>                      | <b>+++</b>        | <b>+++</b>             | <b>+++</b>       | <b>gekocht +; +</b> | <b>++</b>  | <b>+++</b> | <b>+++</b> | <b>++</b> |
| CHE-MIC blau       | +                              | +++               | +++                    | ++               |                     | ++         | +++        | +++        | ++        |
| CHE-MIC grau       | ++                             | +++               | +++                    | ++               |                     | ++         | +++        | +++        | ++        |
| TH-CAN-FK          | +                              | ++                | ++                     | +++              |                     | ++         | +++        | +++        | ++        |
| Calabrese spät     | +                              | +++               | ++                     | +                |                     | ++         | +++        | +++        | ++        |
| <b>TH-CAN-FS18</b> | <b>++</b>                      | <b>+++</b>        | <b>+++</b>             | <b>+</b>         | <b>gekocht +</b>    | <b>+++</b> | <b>+++</b> | <b>+++</b> | <b>++</b> |
| CHE-ATL            | +++                            | +                 | ++                     | ++               |                     | +          | ++++       | +++        | +++       |
| CHE-CAL            | ++                             | +++               | ++                     | ++               |                     | +++        | +          | ++         | +++       |

|        |    |    |    |    |                              |    |   |     |    |
|--------|----|----|----|----|------------------------------|----|---|-----|----|
| CN-COA | ++ | ++ | +  | ++ | <b>roh + ge-<br/>kocht -</b> | ++ | + | +++ | ++ |
| CN-PRI | +  | ++ | ++ | ++ |                              | +  | + | +   | +  |

## **6. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen**

Alle zu Beginn des Vorhabens gesteckten Ziele wurden erreicht. Verzögerungen in den Datenauswertungen und der Glucosinolanalytik insbesondere im ersten Versuchsjahr waren bedingt durch den vergleichsweise hohen Aufwand in der Etablierung der entsprechenden Analytik, was allerdings im Zeitverlauf des Projektes angepasst werden konnte.

## 7. Zusammenfassung

Ziel des Projektes war, in Kooperation mit der gemeinnützigen Organisation Kultursaat e.V. und den dort engagierten On-Farm-Züchtern Zuchtpopulationen bzw. traditionelle, offen blühende Brokkolisorten (keine Hybriden bzw. CMS-Hybriden), die für den ökologischen Landbau geeignet sind, zu selektieren. Dabei standen einerseits agronomische Eigenschaften wie Ertragssicherheit, Einheitlichkeit, enges Erntefenster, Festigkeit der Blume, andererseits die Gehalte an gesundheitsfördernden, sekundären, bioaktiven Inhaltsstoffen im Fokus.

Das Gesamtvorhaben bestand aus zwei eng miteinander verzahnten Teilprojekten. Das seitens der Universität Hohenheim bearbeitete Teilprojekt umfasste hierbei die Aufgabe Brokkoli-Linien, die durch Kultursaat e.V. selektiert wurden, auf sekundäre, bioaktive Inhaltsstoffe und korrelierende Eigenschaften (Geschmack, Farbe, etc.) einschließlich ihres agronomisches Potenzial zu testen. Um ein schnelles und kostengünstiges Verfahren für die On-Farm-Züchtung zu etablieren, wurde ein sensorgesteuertes Praxistool für die Charakterisierung von Linien in der On-Farm-Züchtung geprüft und mit Hilfe von nasschemischen Labormessungen kalibriert.

Insgesamt wurden in den Jahren 2011 bis 2013 in fünf Sätzen (Herbst- und Frühjahrsanbau) 14 Genotypen aus dem Genpool der On-Farm-Züchter von Kultursaat e.V., 3 im Handel erhältliche samenfeste Sorten (Miranda, Limba, Ramoso), 4 im ökologischen Landbau häufig eingesetzte Hybridsorten (Marathon, Batavia, Belstar, Monterey) sowie zum Vergleich eine CMS-Hybride (Ironman) angebaut.

An den Einzelpflanzen wurden die agronomischen Parameter Gewicht (Gesamtpflanzengewicht, Blattmasse, Blumengewicht), Durchmesser, Festigkeit, Form, Verzweigung, Körnung der Knospen und Farbe sowie der Ertrag ermittelt.

Um die Daten zur Kalibrierung des Sensortools Multiplex® zu erheben, wurden im Feld Blätter und Blumen zuerst zerstörungsfrei gemessen. Anschließend wurden Einzelpflanzen geerntet und für die nasschemischen Analysen der Inhaltsstoffe beprobt. An diesen Proben wurde außerdem das lipidlösliche (ACL) und wasserlösliche antioxidative Potential (ACW) gemessen.

Die gesundheitsfördernden Glucosinolate Glucoraphanin, Glucobrassicin, 4-Methoxyglucobrassicin und 1-Methoxyglucobrassicin wurden nasschemisch mit Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) analysiert. Anhand dieser Daten wurde zusätzlich eine Kalibrierung für die Bestimmung der Einzelglucosinolate mittels Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) durchgeführt um eine kostengünstigere Methode für einen hohen Probendurchsatz zu entwickeln. Mit Hilfe der HPLC-Messdaten wurde darüber hinaus das Sensortool Multiplex® kalibriert.

Um die geschmacklichen Eigenschaften der Genotypen und Sorten zu prüfen, wurden im Rahmen des Projektes Verkostungen mit rohen und gekochten Proben von einem hedonischen und einem geprüften Panel durchgeführt.

Im Rahmen des Projektes wurden hinsichtlich der agronomischen Eigenschaften der samenfesten Genotypen folgende Ergebnisse erzielt: Im Mittel über alle Anbauzeiträume variierte der Gesamtertrag über alle geprüften Sorten, Hybriden und Genotypen zwischen  $7.9 \text{ t ha}^{-1}$  und  $12.70 \text{ t ha}^{-1}$ . Die Hybride Batavia F1 wies dabei den höchsten Gesamtertrag auf während die samenfesten Sorten Limba und Miranda mit  $7.9$  bzw.  $8.20 \text{ t ha}^{-1}$  im unteren Ertragsbereich lagen. Die offenabblühenden Genotypen ‚CHE-MIC-1‘ und ‚TH-CAN-FS-18‘ zeigten mittlere Erträge mit  $9.85 \text{ t ha}^{-1}$  und  $9.9 \text{ t ha}^{-1}$ . Der Aberntegrad lag im Mittel zwischen  $74.5 \%$  und  $92 \%$ . Insbesondere einzelne Genotypen wie CHEMIC1 und CHEBAL1 erreichten Aberntegrade zwischen  $85\%$  und  $97\%$  und lagen damit im Bereich der Hybridsorten.

Hinsichtlich der Blumengewichte variierten die samenfesten Genotypen stark. Einzelne Genotypen erzielten im Durchschnitt Blumengewichte, die die der Hybriden erreichten bzw. überschritten (z.B. ‚KSV-BRO-CHE-MIC grau‘ mit  $357 \text{ g}$  im Vergleich zur Hybride ‚Batavia F1‘ mit  $355 \text{ g}$ ), während andere deutlich unter den erwünschten  $300 \text{ g}$  bis  $600 \text{ g}$  blieben. Im Verlauf des Projektes ließ sich ein Züchtungsfortschritt für einzelne Genotypen feststellen. Insgesamt zeigten die samenfesten Genotypen eine hohe Variabilität, so dass sich hier Potential für weiteren Züchtungsfortschritt besteht.

Tendenziell hatten die samenfesten Genotypen etwas größere Blumendurchmesser als die Hybridsorten. In Anlehnung an den Mindestdurchmesser von  $7 \text{ cm}$  für die Vermarktung könnten diese Genotypen damit theoretisch früher geerntet und das Erntefenster vorgezogen werden. Die Blumenfestigkeit der Hybriden war im Allgemeinen höher als die der samenfesten Genotypen. Allerdings gab es einige samenfeste Genotypen, die über den gesamten Anbauzeitraum feste Blumen ausbildeten.

Die Messungen zum wasserlöslichen und lipidlöslichen antioxidativen Potential wurden für die beiden Anbauzeiträume Herbst 2011 und Frühjahr 2012 durchgeführt. Da die Ergebnisse hochsignifikant von den Anbauzeiträumen beeinflusst wurden, jedoch kein signifikanter Einfluss der Genotypen/Sorten auf das antioxidative Potential belegt werden konnte, wurden diese Messungen für die folgenden Anbauzeiträume eingestellt.

Im Rahmen des Projektes wurde erfolgreich eine HPLC-Messmethode zur Bestimmung der Glucosinolate in Brokkoli etabliert. Mittels HPLC wurden die vier Hauptglucosinolate Glucoraphanin, Glucobrassicin, 4-Methoxyglucobrassicin und 1-Methoxyglucobrassicin (Neoglucobrassicin) analysiert. Glucobrassicin, Glucoraphanin und 1-Methoxyglucobrassicin wurden sowohl in der Blume als auch im Blatt als die drei vorherrschenden GLS identifiziert. Glucobrassicin hatte in der Blume den höchsten Gehalt, darauf folgten Glucoraphanin und 1-Methoxyglucobrassicin. Glucoiberin und Glucoprogoitrin lagen in so geringen Mengen vor, die sich teilweise am Rande der Nachweisgrenze bewegten. Daher kann davon ausgegangen werden kann, dass die Menge an gesundheitsschädlichen Glucosinolaten in den Genotypen sehr gering war. Die Gesamtglucosinolatgehalte waren signifikant von den Faktoren Zeit und Genotyp/Sorte abhängig. Tendenziell hatten alle samenfesten Sorten und

Genotypen höhere Gehalte an Glucosinolaten als die Hybridsorten, wobei einige Hybridsorten bei einzelnen Glucosinolaten hohe Werte zeigten. Für die Glucosinolate Glucobrassicin, 4-Methoxyglucobrassicin und Neoglucobrassicin konnte ein signifikanter Zusammenhang mit dem Faktor Genotyp/Sorte und Anbauzeitraum nachgewiesen werden, lediglich bei Glucoraphanin konnte ein Zusammenhang mit dem Anbauzeitraum belegt werden. Die Gehalte an den einzelnen Glucosinolaten lagen für Glucoraphanin bei  $1,29 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM, für Glucobrassicin bei  $3,58 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM, für – Methoxyglucobrassicin bei  $0,47 \mu\text{mol g}^{-1}$  TM und für Neoglucobrassicin bei  $0,93 \text{ g}^{-1}$  TM und damit im Rahmen anderer Arbeiten. Insgesamt wiesen die Nachkommen im Schnitt höhere Glucosinolatgehalte auf als die Mutterlinie, so dass bei den Gehalten an Glucosinolaten ein Züchtungsfortschritt dokumentiert werden konnte.

Bei der Kalibrierung des Sensortools Multiplex® konnten unter Einbeziehung des Indices FER\_RUV statistische Zusammenhänge mit Bestimmtheitsmaßen von 0,27 und 0,51 für Glucobrassicin, 0,28 und 0,89 für 4-Methoxyglucobrassicin und 0,22 und 0,30 für Methoxyglucobrassicin ermittelt werden. Für Glucoraphanin konnte der statistische Zusammenhang nur mit Einschränkungen unter Einbeziehung des Indices BGV-UV ermittelt werden. Zusammenfassend kann daher in einem gewissen Bereich der Multiplex-Sensor für die Bestimmung der Einzelglucosinolate eingesetzt werden. Insbesondere für die indolischen Glucosinolate konnten sortenspezifisch enge Regressionen erarbeitet werden. Der Einsatz des Multiplexsensors im Jungpflanzenstadium ist nicht sinnvoll, da keine Rückschlüsse vom Glucosinolatgehalt im Blatt auf die späteren Glucosinolatgehalte in der Blume getroffen werden können. Die Methodenentwicklung ist allerdings im Augenblick noch nicht so weit fortgeschritten, dass das Tool in naher Zukunft in der Praxis einsetzbar ist. Weiterer Entwicklungsbedarf ist an der Stelle gegeben.

In den Verkostungen zeigte sich beim hedonischen Panel eine eindeutige Präferenz für den samenfesten Genotyp `CHE-MIC` in beiden Versuchsjahren, während beim professionellen Panel in einem Jahr die Hybridsorte `Monterey F1`, im Folgejahr der samenfeste Genotyp `TH-CAN-FS18` am besten bewertet wurde. Die positive Bewertung `KSV-BRO-CHE-MIC` in den Verbraucherpanels ist daher eine gute Grundlage, um diesen schmackhaften Genotyp bis zur Sortenankennung weiterzuentwickeln.

Betrachtet man abschließend alle Ergebnisse, so stellten sich zwei samenfeste Genotypen als besonders geeignet für die weitere Sortenentwicklung heraus: `KSV-BOTH-CAN-FS18` und `KSV-BRO-CHE-MIC`. Beide Genotypen wiesen gute agronomische Parameter wie hohe Blumengewichte auf. Allerdings hatte `KSV-BRO-TH-CAN-FS18` eine niedrige Blumenfestigkeit, so dass hier noch weiterer Züchtungsbedarf besteht. `KSV-BRO-CHE-MIC` lieferte bereits ausreichend feste Blumen. Hinsichtlich der Gehalte an bioaktiven Inhaltsstoffen zeigte `KSV-BRO-TH-CAN-FS18` hohe Werte bei den Glucosinolaten Glucoraphanin, Glucobrassicin und 4-Methoxyglucobrassicin und mittlere Werte bei 1-Methoxyglucobrassicin. Bei `CHE-MIC` lagen die Werte für Glucoraphanin und 1-Methoxyglucobrassicin im mittleren Bereich, bei Glucobrassicin und 4-Methoxyglucobrassicin im oberen Bereich, so dass

auch die Ansprüche an hohe Gehalte an gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen erfüllt wurden. Zudem gab es für beide Genotypen positive Bewertungen in den Verkostungen. Besonders geeignet waren die samenfesten Sorten für den Anbau im zeitigen Frühjahr und späten Herbst, da sie noch bei niedrigen Temperaturen marktfähige Blumen entwickeln. Aufgrund der Neigung zu Frühblühern sind beide Genotypen ohne weitere züchterische Bearbeitung nicht für den Sommeranbau zu empfehlen. Basierend auf den Projektergebnissen, können beide Genotypen als Ausgangsmaterial für die Entwicklung von Brokkolisorten für den Ökologischen Landbau empfohlen werden.

## 8. Literaturverzeichnis

- Acikgoz E. 2010. The effect of harvesting methods on the yield in some broccoli varieties. *African Journal of Agricultural Research* 5: 614-61.
- Agati G., Meyer S., Matteini P. Cerovic Z. G. 2007. Assessment of anthocyanins in grape (*Vitis vinifera* L.) berries using a non-invasive chlorophyll fluorescence method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55 1053-1061.
- Banga, S. S., Banga S.K. 1998. *Hybrid Cultivar Development*. Springer Berlin Heidelberg New York, 555 p.
- Baranski, M, Dominika Srednicka-Tober, Nikolaos Volakakis, Chris Seal, Roy Sanderson, Gavin B. Stewart , Charles Benbrook, Bruno Biavati, Emilia Markellou, Charilaos Giotis, Joanna Gromadzka-Ostrowska, Ewa Rembiałkowska, Krystyna Skwarło-Son´ta, Raija Tahvonen, Dagmar Janovska´, Urs Niggli, Philippe Nicot , Carlo Leifert, 2014. Higher antioxidant concentrations and less cadmium and pesticide residues in organically-grown crops: a systematic literature review and meta-analyses. *British Journal of Nutrition*. page 1 of 18 doi:10.1017/S0007114514001366.
- Bayrische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau 2010. *Gemüsebauversuche 2010*. [http://www.lwg.bayern.de/gartenbau/oekologischer\\_anbau/40556/linkurl\\_0\\_0.pdf](http://www.lwg.bayern.de/gartenbau/oekologischer_anbau/40556/linkurl_0_0.pdf).
- Bioland e.v.(2014): [http://www.bioland.de/fileadmin/dateien/HP\\_Dokumente/Richtlinien/-Bioland-Richtlinien\\_24\\_Maerz\\_2014.pdf](http://www.bioland.de/fileadmin/dateien/HP_Dokumente/Richtlinien/-Bioland-Richtlinien_24_Maerz_2014.pdf)
- Block G, Patterson B, Subar A 1992. Fruit, vegetables, and cancer prevention: a review of the epidemiological evidence. *Nutr Cancer* 18(1): 1–2
- BÖLW 2013. BÖLW-Info: CMS-Sorten und Zellfusionstechnik im Öko-Landbau, download von [www.boelw.de/uploads/media/pdf/Themen/Saatgut/130801\\_BOELW\\_Info\\_-\\_CMS\\_>zuechtungstechnik.pdf](http://www.boelw.de/uploads/media/pdf/Themen/Saatgut/130801_BOELW_Info_-_CMS_>zuechtungstechnik.pdf) am 10.08.2014
- Bradlow, H. L., D. W. Sepkovic, Telang, N. T., M. P. Osborne 1999. Multifunctional aspects of the action of indole-3-carbinol as an antitumor agent. *Ann N Y Acad Sci*, 889: 204–13.
- Branca F. 2008. Cauliflower and broccoli. In: J. Prohens and F. Nuez (eds.), *Vegetables I*, 147-182, Springer, New York In book: *Hanbook of breeding*, volume 1, Chapter: Cauliflower and Broccoli, Publisher: Springer, Editors: Prohens J., Nuez F., pp.147-182.
- Buschmann C, Lichtenthaler HK 1998. Principles and characteristics of multi-colour fluorescence imaging of plants. *Journal of Plant Physiology* 152:297-314.
- Cao, G.; Wang, H; Prior, R. 1996. Total Antioxidant Capacity of Fruits. *J. Agric. Food Chem.* 44 (3),
- Carlson D.G., Daxenbichler M.E. and Van Etten C.H. 1987. Glucosinolates in crucifer vegetables: broccoli, brussels sprouts, cauliflower, collards, kale, mustard greens, and kohlrabi. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 112: 173–178
- Cartea, M., Velasco P. 2008. Glucosinolates in *Brassica* foods: bioavailability in food and significance for human health. *Phytochemistry Reviews* 7(2). 213-229.
- Cartelat, A., Cerovic, Z.G., Goulas, Y., Meyer, S., Lelarge, C., Prioul, J.L., Barbottin, A., Jeufroy, M.H., Gate, P., Agati, G., Moya, I., 2005. Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research* 91, 35–49.
- Cerovic, Z. G.; Moise, N.; Agati, G.; Latouche, G.; Ben Ghazlen, N.; Meyer, S. 2008. New portable optical sensors for the assessment of winegrape phenolic maturity based on berry fluorescence. *J. of Food Comp. and Anal.*, 21, 650– 654.
- Cerovic, J., Ounis, A., Cartelat, A., Latouche, A., Goulas, Y, Meyer, S., Moya, I. 2002. The use of chlorophyll fluorescence excitation spectra for the non-destructive *in situ* assess-

- ment of UV-absorbing compounds in leaves. *Plant, Cell & Environment*, 25 (12), 1663–1676, DOI: 10.1046/j.1365-3040.2002.00942.x.
- Charron C.S., Saxton A.M., Sams C.E. 2005. Relationship of climate and genotype to seasonal variation in the glucosinolate–myrosinase system. II. Myrosinase activity in ten cultivars of *Brassica oleracea* grown in fall and spring seasons. *J Sci Food Agric*. 85:682–90.
- Charron, C.S., Sams, C.E. 2004. Glucosinolate content and myrosinase activity in rapid-cycling *Brassica oleracea* grown in a controlled environment. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 129, 321–330.
- Chu, J., Syrový, I., Meberg, H. 2006. Organic Weed Control Solutions in Broccoli. Project Report to Certified Organic Association of BC.
- Chung B., Strickland H. 1986. Effect of sowing time on the once-over harvest yield of broccoli cultivars in north-west Tasmania. *Australian Journal of Experimental Agriculture*: 26: 497-500.
- Dean A. Kopsell, David E. Kopsell, Mark G. Lefsrud, Joanne Curran-Celentano, Laura E. Dukach 2004. Variation in Lutein,  $\beta$ -carotene, and Chlorophyll Concentrations among *Brassica oleracea* Cultivars and Seasons. *HortScience*; 39: 361-364.
- Demeter e.v. 2010. [http://www.demeter.de/sites/default/files/richtlinien/ERZ-Rili\\_2014\\_II.pdf](http://www.demeter.de/sites/default/files/richtlinien/ERZ-Rili_2014_II.pdf).
- Dettweiler, R. 2011. Der Verein Kultursaat - Ziele und Projekte. *ÖKOmenischer Gärtnerbrief* 02/2011 (April, Mai, Juni), 23-26.
- Drewnowski A. and Gomez-Carneros C. 2000. Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. *Am. J. Clin. Nutr.* 72: 1424– 143
- Dufault, R. 1997. Determining Heat Unit Requirements for Broccoli Harvest in Coastal South Carolina. *Journal American Society Horticultural Science* 122(82).
- Engel, E., Baty, C., Le Corre, D., Souchon, I., Martin, N., 2002. Flavoractive compounds potentially implicated in cooked cauliflower acceptance. *J. Agric. Food Chem.* 50, 6459–6467.
- Erbersdobler, H. 2000. Wirkstoffe. In: Erbersdobler, H.; Meyer, A. (Hrsg.): *Praxishandbuch Functional Food B*. Behr's Verlag GmbH & Co Hamburg: pp. 1-14.
- Fahey, J., Zalcmann, A.T., Talay P. 2003. The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants, *Photochemistry* 56, 5-51.
- Farnham, M. W., D. A. Kopsell 2009. Importance of Genotype on Carotenoid and Chlorophyll Levels in Broccoli Heads. *HortScience*, 44: 1248-1253.
- Fenwick, G. R., Curl C. L., Griffiths, N. M., Heaney, R. K., Price, K. R. 1990. Bitter principles in food plants. In: *Bitterness in Foods and Beverages*, Elsevier, New York, 205-250.
- Fernández-León, M., Fernández-León, A. M., Lozano Ruiz, M., Ayuso Yuste, M. C., González-Gómez, D. 2012. Identification, quantification and comparison of the principal bioactive compounds and external quality parameters of two broccoli cultivars. *Journal of Functional Foods*, 4, 465–473.
- Fleck, M. 2009. Approaches and achievements of biodynamic vegetable breeding by Kultursaat e.V. (Germany) using the example of RODELIKA one of the first certified biodynamic varieties. In: IFOAM [Ed.] *Proceedings of 1st IFOAM Conference on organic animal and plant Breeding*, 26th-28th Aug. 2009 in Santa Fe, New Mexico (USA), 177-181.
- Fleck, M., Wolf, S. Claupein, W. 2013. Züchterische Weiterentwicklung samenfester Brokkolisorten für den Ökolandbau hinsichtlich agronomischer wie sensorischer Merkmale. Poster at: 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn, 5. bis 8. März 2013.
- Font R., Del Río M., Fernández-Martínez J.M., De Haro-Bailón A. 2004. Use of near-infrared spectroscopy for screening the individual and total glucosinolate con-

- tents in Indian mustard seed (*Brassica juncea* L. Czern. & Coss.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 3563-3569
- Font R., Del Río-Celestino M., Cartea E., De Haro-Bailón A. 2005a. Quantification of glucosinolates in leaves of leaf rape (*Brassica napus* ssp. *pabularia*) by near-infrared spectroscopy. *Phytochemistry* 66: 175-185.
- Font R., Del Río-Celestino M., Rosa E., Aires A., De Haro-Bailón A. 2005b. Glucosinolate assessment in *Brassica oleracea* leaves by near-infrared spectroscopy, *Journal of Agricultural Science* 143: 65-73.
- Force-A. 2010. Multiplex Research, Optical measurements of polyphenols and chlorophyll. Abgerufen am 3. September 2011, <http://www.ictinternational.com.au>.
- Gielen B, Vandermeiren K, Horemans N, D'Haese D, Serneels R, Valcke R 2006. Chlorophyll a fluorescence imaging of ozone-stressed *Brassica napus* L. plants differing in glucosinolate concentrations. *Plant Biology*, 8:698-705.
- Griffith M., Carling D.E. 1991. Effects of plant spacing on broccoli yield and hollow stem in Alaska. *Canadian Journal of Plant Science* 71: 579-585.
- Guo, D.J., H.L. Cheng, S.W. Chan, P. Yu. 2008. Antioxidative activities and the total phenolic contents of tonic Chinese medicinal herbs. *Inflammopharmacology* 16:201-207.
- Halkier B.A., Gershenzon J. 2006. Biology and biochemistry of glucosinolates. *Annu Rev Plant Biol.* 57:303-33.
- Haller D., Grune, T., Rimbach, G. (Hrsg.) 2013. Biofunktionalität der Lebensmittelinhaltsstoffe, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Heaney R.K., Spinks E.A., Hanley A.B., Fenwick G.R. 1986. Analysis of Glucosinolates in Rapeseed. Technical Bulletin. AFRC, Food Research Institute, Norwich. ISBN 0 7084 0396 4
- Heaney, L.R. 1986. Biogeography of Mammals in SE Asia: Estimates of Rates of Colonization, Extinction, and Speciation', *Biol. J. Linnean Soc.* 28, 127-165.
- Heinze, T. 2006. Gemüsezüchtung – für eine Kultur des ökologischen Landbaus. *Ökologie & Landbau* 138 (2): 29-31.
- Hernández-Hierro J.M., Valverde J., Villacreces S., Reilly K., Gaffney M., González-Miret M.L., Heredia F.J., Downey G. 2012. Feasibility study on the use of visible-near-infrared spectroscopy for the screening of individual and total glucosinolate contents in broccoli. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60: 7352-7358.
- Hom, N.H., Becker, H.C., Möllers, C., 2007. Non-destructive analysis of rapeseed quality by NIRS of small seed samples and single seeds. *Euphytica* 153:27–34
- Howe, G., T. Hirohata, T. Hislop, J. Iscovich, J. Yuan, K. Katsouyanni, F. Lubin, E Marubini, B. Modan, T. Rohan, P. Toniolo, Y. Shunzhang 1990. Dietary factors and risk of breast cancer: combined analysis of 12 case-control studies. *J. Nat. Cancer Inst.* 82: 561-569.
- Huyskens-Keil, S., Ch. Ulrichs, M. Schreiner, P. Peters, S. Widell 1998. Nacherntephiologischer Ansatz zur Bestimmung einer Qualitätskenngröße bei Radies. *BDGL-Schriftenreihe* 16: 63.
- Ismail A, Lee WY 2004. Influence of cooking practice on antioxidant properties and phenolic content of selected vegetables. *Asia Pac J Clin Nutr*, 13:S162.
- Jett, L. W., Morse, R. D., O'Dell, C. R. 2005. Plant density effects on single-head broccoli production. *HortScience* 30, 50–2.
- Jones, R.B., Frisina, C.L., Winkler, S., Imsic, M., Tomkins, R.B. 2010. Cooking method significantly effects glucosinolate content and sulforaphane production in broccoli florets. *Food Chemistry* 123 (2010) 237–242.
- Kałużewicz ., Kr esiński W., Knaflowski M. 2009. Effect of temperature on the yield and quality of broccoli heads. *Vegetable Crops Research Bulletin* 71: 51-58.

- Khatab, K., 2007. Measurement of the fast neutron flux in the MNSR inner irradiation site. *Applied Radiation and Isotopes* 65 (1), 46–49.
- Krug, E., Mercy, J., Dahlberg, L., Zwi, A., 2002. [www.thelancet.com](http://www.thelancet.com).
- Krumbein, A., I. Schonhof, M. Schreiner 2005. Composition and contents of phytochemicals (glucosinolates, carotenoids and chlorophylls) and ascorbic acid in selected Brassica species (*B. juncea*, *B. rapa subsp. nipposinica* var. *chinoleifera*, *B. rapa subsp. chinensis*, *B. rapa subsp. rapa*). *Appl. Bot. Food Qual.* 79: 168–174.
- Krumbein, M., Germanus, M. 2013. Sortenvergleich bei Brokkoli im Frühjahr unter Vlies <http://www.hortigate.de/Apps/WebObjects/Hortigate.woa/spider/meta?infometa=59732>.
- Kurilich, A. C.; Tsau, G. J.; Howard, L.; Brown, A.; Klein, B.; Jeffery, E.; Kushad, M.; Wallig, M. 1998. Carotenoid, tocopherol, and ascorbate variability in cruciferous vegetables. *Abstracts of Papers, 95th Annual International Conference of the American Society for Horticultural Science*, Salt Lake, UT; American Society for Horticultural Science: Washington, DC, Vol. 33, p 457.
- Kushad, M.M., Brown, A.F., Kurilich, A.C., Juvik, J.A., Klein, B.P., Wallig, M.A., Jeffery, E.H., 1999. Variation of glucosinolates in vegetable crops of *Brassica oleracea*. *J. Agric. Food Chem.* 47, 1541–1548.
- Lejealle S., Evain S., Cerovic Z. 2010. Multiplex: a New Diagnostic Tool for Management of Nitrogen Fertilization of Turfgrass. ICPA 2010, Denver Co USA
- Lenfer-Marquez, U. M.; Barros, R. M. C.; Sinnecker, P. 2005. Antioxidant activity of chlorophylls and their derivatives. *Food Res. Int.*, 38, 885–891.
- Lewis, W., Ronald, J., Morse, D., O'De, C. 1995. Plant Density Effects on Single-head Broccoli Production *Hortscienc* 30(1): 50–52.
- LMBG 1997. Amtliche Sammlung von Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG L00.90-1, Januar 1997.
- Matheis, G. 1994. Geschmack, Geruch, Aroma und Flavour. *Dragoco Bericht für Geschmacksstoffe verarbeitende Industrien* 39: 50-65.
- Osman, A., V. Chable 2007. Breeding initiatives of seeds of landraces, amateur varieties and conservation varieties – An inventory and Case Studies. [www.farmseed.net](http://www.farmseed.net), p. 35.
- Plumb, G. W., Price, K. R., Rhodes, M. J., Williamson, G. 1997. Antioxidant properties of the major polyphenolic compounds in broccoli. *Free Radical Research*, 27(4), 429–435.
- Podsedeck, A., 2007. Natural antioxidants and antioxidant capacity of brassica vegetables: A review. *LWT-Food Sci. Technol.*, 40: 1-11.
- Prior L., Cao, G. 2000. Antioxidant Phytochemicals in Fruits and Vegetables: Diet and Health Implications, *HortScience*, 35(4) 588-592.
- Rechkemmer, G. (2001): Funktionelle Lebensmittel – Zukunft der Ernährung oder Marketing-Strategie. *Forschungsreport Sonderheft*: 12-15.
- Rosa, E.A.S., David, M., Gomes, M.H. 2001. Glucose, fructose and sucrose content in broccoli, white cabbage, and Portuguese cabbage grown in early and late seasons. *J. Sci. Food Agric.* 81, 1145–1149.
- Scharpf, H. 2002. Chance für den Gartenbau. *Taspo-Magazin* (2): 4-6.
- Schreiner, M. 2005. Vegetable crop management strategies to increase the quantity of phytochemicals. *European Journal for Nutrition*, 44, 85-94
- Schreiner, M., S. Huyskens-Keil, P. Peters, I. Schonhof, A. Krumbein S. Widell 2002. Seasonal climate effects on root colour and compounds of red radish. *J. Sci. Food Agric.* 82: 1325-1333.
- Shattuck V., Shelp B., Loughton A., Baker R. 1986. Environmental stability of yield and hollow stem in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *Canadian journal of plant science* 66: 683-688.
- Schmidt, M. K. T. P. Labuza 2000. *Essentials of functional foods*. Aspen Publ. p. 395.

- Slattery, S. M. 2000. Factors affecting first-year survival in Ross' s Geese, PhD Thesis, University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.
- Sloan, E. 1999. Chemical market reporter, 06/07/99, 255 (23): 4.
- Smith-Spangler,C., Brandeau,M.; Hunter,G., Clay,J., Bavinger,N. ; Pearson,M, Eschbach, J.; Sundaram,V. ,Liu,H., Schirmer,P., Stave,C., Olkin,I., Bravata,D. 2012. Are Organic Foods Safer or Healthier Than Conventional Alternatives? A Systematic Review, 4 SepNNIs of internal medicine. Ann. Intern. Med. 157(5):348-366.
- Stoewsand, G.S. 1995. Bioactive organosulfur phytochemicals in Brassica oleracea vegetables--a review. Food Chem Toxicol. 1995 Jun;33(6):537-43
- Thompson, L. 1993. Potential health benefits and problems associated with antinutrients in foods. Food Res. Internat. 26: 131-149.
- Tian, Q., Robin A., Rosselot, R.A. Steven J. Schwartz Talalay 2005. Quantitative determination of intact glucosinolates in broccoli, broccoli sprouts, Brussels sprouts, and cauliflower by high-performance liquid chromatography–electrospray ionization–tandem mass spectrometry. Analytical Biochemistry 343, 1, 93–99.
- Tremblay, N.; Wang, Z.; Cerovic, Z. G. 2012. Sensing crop nitrogen status with fluorescence indicators. A review. Agron. Sustain. Dev., 32, 451–464.
- Tremblay,N., Z. Wang, Z.G. Cerovic 2011. Sensing crop nitrogen status with fluroescence Ulrich, D., Borschel,K. Hoberg,E., Quilitzsch,R., Schütze,W., Bauer,D., Fleck, M. (2004): Vergleichende Qualitätsuntersuchungen von alten und neuen Gemüsesorten zur Entwicklung von Zuchtzielen für den ökologischen Gemüsebau. Schlussbericht des BÖL-Projektes 02OE027, p. 28.
- UPOV 2006. <http://www.upov.int/export/sites/upov/news/en/pressroom/pdf/pr67.pdf>.
- Vallejo F, García-Viguera C, Tomás-Barberán FA. 2003. Changes in broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) health-promoting compounds with inflorescence development. J Agric Food Chem 51:3776–82.
- Vallejo, F., Tomás-Barberán, F.A., García-Viguera, C. 2002. Potential bioactive compounds in health promotion from broccoli cultivars grown in Spain. J. Sci. Food Agric. 82, 1293–1297.
- Vallejo, F.; Tomás-Barberán, F.A.; García-Viguera, C. 2002. Glucosinolates and vitamin C content in edible parts of broccoli florets after domestic cooking. Eur Food Res Technol, 215, 310–316
- Veh, C., Graeff-Hönninger, S. Claupein, W., Grimes, S. 2013. Sensortechnologien im Ökologischen Landbau am Beispiel von Brokkoli (*Brassica oleracea* convar. *botrytis* var. *italica*) in Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 24 Bodenfruchtbarkeit – Bedeutung und Bestimmung in Pflanzenbau und Bodenkunde.
- Velasco L., Becker H.C. 1998. Estimating the fatty acid composition of the oil in intact-seed rapeseed (*Brassica napus* L.) by near-infrared spectroscopy. Euphytica, 101: 221–230.
- Vidal-Aragon C., Lozano M., Bernalte J., Ayuso C., Garcia I., Hernandez T., Garcia J., Gonzalez J. 2009. Productive characteristics and volatile compounds of seven broccoli cultivars. Italian Journal of Food Science 21: 17-28.
- Watzl, B., Leitzmann, C. 1999. Bioaktive Substanzen in Lebensmitteln. Hippokrates Verlag Stuttgart, Germany, p. 254.
- Xu F, Yang Z, Chen X, Jin P, Wang X, Zheng 2012. Y,6-Benzylaminopurine delays senescence and enhances health-promoting compounds of harvested broccoli. J Agric Food Chem 60 :234–240.
- Yuan, Gao-feng, Sun, Bo, Yuan, Jing, Wang, Qiao-mei, 2009. Effects of different cooking methods on health-promoting compounds of broccoli. J Zhejiang Univ Sci B.; 10(8): 580–588.10(8): 580–588.

Zanoli, R. 2004. The European consumer and organic food. OMIARD Vol. 4, University of Wales, Aberystwyth.

Zhang Y.P., Tremblay N. 2010. Evaluation of the Multiplex® fluorescence sensor for the assessment of corn nitrogen status. 10th International Conference on Precision Agriculture, Denver, Colorado, July 18 – 21, 2010, CD-ROM, p 9

## 9. Übersicht über alle im Berichtszeitraum vom Projektnehmer realisierten Veröffentlichungen zum Projekt (Printmedien, Newsletter usw.), bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

### Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften - Posterpräsentationen

Wolf S.; Graeff-Hönninger, S.; Zikeli, S.; Pfenning, J.; Merkt, N.; Claupein, W. (2012): Ertrag und antioxidatives Potenzial samenfester Brokkoli-Genotypen im Vergleich zu konventionellen Brokkoli-Hybridsorten unter ökologischen Anbaubedingungen. Tagungsband 2012 der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Berlin, S. 308

Wolf, S.; Burkhard, J.; Graeff-Hönninger, S.; Zikeli, S.; Merkt, N.; Zahner, M.; Claupein, W. (2013): Messung von Glucosinolaten in Brokkoli mit Nahinfrarotspektroskopie. Tagungsband 2012 der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Weihenstephan, S. 275

### Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau - Posterpräsentationen

Fleck, M.; Wolf, S.; Claupein, W. (2013): Züchterische Weiterentwicklung samenfester Brokkolisorten für den Ökolandbau hinsichtlich agronomischer wie sensorischer Merkmale. 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, 2013.

Wolf, S.; Fleck, M.; Graeff-Hönninger, S.; Zikeli, S.; Claupein, W. (2013): Messung sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe von Brokkoliblumen aus ökologischem Anbau. 12. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Bonn, 2013.

### International Conference on Organic Agriculture Sciences (ICOAS) - Vortrag

Wolf, S.; Fleck, M.; Zikeli, S.; Graeff Hönninger, S.; Claupein, W. (2013): Agronomic Parameters of Open Pollinated Broccoli Genotypes. ICOAS 2013 Book of Abstracts, S. 38

### Annual Conference and Scientific Student Conference (ELLS) - Posterpräsentationen

Burkard, J.; Wolf, S.; Zikeli, S.; Graeff-Hönninger, S.; Merkt, N.; Zahner, M.; Claupein, W. (2013): Analysis of Glucosinolates of Different Open-pollinated Broccoli Genotypes, ELLS Book of Abstracts, Wien, S. 169

Bechtle, M.; Stana, A.; Wolf, S.; Zikeli, S.; Claupein, W.; Graeff-Hönninger, S. (2013): Screening of Broccoli Genotypes for Organic Farming, ELLS Book of Abstracts, Wien, S. 139

### Humboldt Reloaded – Tagung – Posterpräsentationen

Rapp, M.; von Koch, C.; Capezzone, F.; Wolf, S.; Graeff-Hönninger, S.; Zikeli, S.; Claupein, W. (2012): Brokkoli, samenfest & ökologisch – Sensorischer Verbraucher-

test verschiedener Brokkolivarietäten, 1. Humboldt Reloaded Tagung, Stuttgart-Hohenheim

Benz, M.; Wolf, S.; Graeff-Hönninger, S.; Zikeli, S. ; Claupein, W. (2013): Brokkoli Verkostung. Was gut aussieht, muss nicht immer schmecken! Verkostung von neuen Brokkolizüchtungen, 2. Humboldt Reloaded Tagung, Stuttgart-Hohenheim

Glaeser, C.; Weishaar, R.; Wolf, S.; Graeff-Hönninger, S.; Zikeli, S. ; Claupein, W. (2013): Wie heilen Wunden mit der Zeit? Nachlagerungsversuch von zwei Brokkolisorten unter vier verschiedenen atmosphärischen Bedingungen, 2. Humboldt Reloaded Tagung, Stuttgart-Hohenheim

Bechtle, M.; Stana, A.; Wolf, S.; Graeff-Hönninger, S.; Zikeli, S. ; Claupein, W. (2013): Welche Mutti ist die Beste? Screening offen-abblühender Brokkoli-Genotypen für den ökologischen Landbau, 2. Humboldt Reloaded Tagung, Stuttgart-Hohenheim

Schiffer, B.; Becherer, C.; Schuster, L.; Wolf, S.; Graeff-Hönninger, S.; Zikeli, S. ; Claupein, W. (2013): Grün, weiß, lila oder rot? Welche Farbe ist am gesündesten?, 2. Humboldt Reloaded Tagung, Stuttgart-Hohenheim

### **Studienarbeiten**

Burkhardt, J. (2013): Einfluss von Genotyp und Erntezeitpunkt auf agronomische und inhaltsstoffliche Parameter von offen abblühendem Brokkoli im ökologischen Landbau, Bachelor Thesis, Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften 340a

Von Koch, C. (2013): Prüfung offen abblühender Brokkoligenotypen auf ihre inhaltsstofflichen Parameter zu unterschiedlichen Erntezeiträumen, Bachelor Thesis, Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften 340a

Gutsal, V. (2012): Bioactive Compounds in Broccoli, Project Report, Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften 340a

Haryani, B. A.; Leonardo, H. (2012): Improvement of Open Pollinating Broccoli Varieties for Organic Farming, focusing on Agronomic Parameters and Bioactive Substances, Project Report, Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften 340a

Stephane, N. T. R. (2012): Improvement of open pollinating broccoli varieties for organic farming, focusing on agronomic parameters and bioactive substances and sensorial traits, Project Report, Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften 340a

## Pressemitteilungen

Fritzsche, R. A. (2012): Neuen Brokkoli braucht das Land. Stuttgarter Zeitung, Ausgabe 262, 12.11.2012

dpa (2012): Öko-Brokkoli kann auch Kindern schmecken. Tagblatt Anzeiger, Nummer 523252387, 09.11.2012

jps (2012): Ein Brokkoli für kleine Genießer. Eßlinger Zeitung, 12.11.2012

Hoffmann, D. (2012): Brokkoli für den Kinderteller. Geislinger Zeitung, 10.11.2012

Anonymus (2012): Studenten der Uni Hohenheim testen neue Öko-Sorten. Tagblatt, Nummer 523538878, 10.11.2012

Anonymus (2012): Öko-Gemüse im Härte-test. Stuttgarter Nachrichten, Ausgabe 264, 14.11.2012

Gaedt, T. (2012): Kinder testen Brokkoli vom Promi-Koch. Bild Stuttgart, Nummer 264, 10.11.2012

dpa / lsw (2012): Öko-Brokkoli schmeckt Kindern. Pforzheimer Kurier, 10.11.2012

## Geplante Veröffentlichungen

### Presse

Zikeli, S.; Fleck, M.; Wolf, S.; Graeff-Hönninger, S.; Claupein, W. (2014): Entwicklung von samenfesten Brokkoli-Sorten – Erste Ergebnisse des BÖLN-Kooperationsprojektes von Kultursaat e.V. und der Universität Hohenheim im Ökologischen Gärtnerbrief.

### Wissenschaftliche Artikel – Papers

Wolf, S.; Zikeli, S.; Fleck, M.; Graeff-Hönninger, S.; Claupein, W. (2014): Agronomic Parameters of Open Pollinated Broccoli Genotypes. Journal of Agricultural Science and Technology.

Wolf, S.; Zikeli, S.; Fleck, M.; Graeff-Hönninger, S.; Claupein, W. (2014): Using Near-infrared reflectance spectroscopy to determine Glucosinolate content in Broccoli Leaves and Florets. Journal of Spectroscopy.

Wolf, S.; Zikeli, S.; Fleck, M.; Graeff-Hönninger, S.; Claupein, W. (2015): Glucosinolate Content and Sensory Attributes of Open Pollinated Broccoli Genotypes. Journal of Agricultural and Food Sciences.

Wolf, S.; Zikeli, S.; Fleck, M.; Graeff-Hönninger, S.; Claupein, W. (2015): Influence of Season, Harvest time and Genotype on Glucosinolates in Broccoli. Journal of Horticulture.

## ANHANG

**Tabelle 25: Alle im Versuch getesteten Brokkoli-Sorten und –Genotypen und deren Anbauzeiträumen; Farblich unterlegt: Anbauzeiträume in im Versuch.**

| Codierung                   | Genotyp / Sorte | Anbauzeitraum |               |             |               |             |
|-----------------------------|-----------------|---------------|---------------|-------------|---------------|-------------|
|                             |                 | Herbst 2011   | Frühjahr 2012 | Herbst 2012 | Frühjahr 2013 | Herbst 2013 |
| <b>Hybride</b>              |                 |               |               |             |               |             |
| 1                           | Batavia         |               |               |             |               |             |
| 2                           | Belstar         |               |               |             |               |             |
| 3                           | Marathon        |               |               |             |               |             |
| 4                           | Monterey        |               |               |             |               |             |
| 5                           | Ironman         |               |               |             |               |             |
| <b>Samenfeste Sorten</b>    |                 |               |               |             |               |             |
| 6                           | Miranda         |               |               |             |               |             |
| 7                           | Ramoso          |               |               |             |               |             |
| 8                           | Limba           |               |               |             |               |             |
| <b>Samenfeste Genotypen</b> |                 |               |               |             |               |             |
| <b>Linie Balimo</b>         |                 |               |               |             |               |             |
| 9.1                         | CHE-BAL 1       |               |               |             |               |             |
| 9.2                         | CHE-BAL 2       |               |               |             |               |             |
| 10.1                        | CHE-LIM 1       |               |               |             |               |             |
| <b>Linie Geba</b>           |                 |               |               |             |               |             |
| 11.1                        | CHE-GEB 1       |               |               |             |               |             |
| 11.2                        | CHE-GEB 2       |               |               |             |               |             |
| <b>Linie Greenia</b>        |                 |               |               |             |               |             |
| 12.1                        | CHE-GRE 1       |               |               |             |               |             |
| 12.2                        | CHE-GRE 2       |               |               |             |               |             |
| 12.3                        | CHE-GRE 3       |               |               |             |               |             |
| 13.1                        | CHE-MIC 1       |               |               |             |               |             |
| 13.2                        | CHE-MIC 2       |               |               |             |               |             |
| 14.1                        | CHE MIC-blau    |               |               |             |               |             |
| 15.1                        | CHE MIC-grau    |               |               |             |               |             |
| <b>Linie Calabrese</b>      |                 |               |               |             |               |             |
| 16.1                        | TH-CAN-FK 1     |               |               |             |               |             |
| 16.2                        | TH-CAN-FK 2     |               |               |             |               |             |
| 16.3                        | TH-CAN-FK 3     |               |               |             |               |             |
| 17.1                        | Calabrese-spät  |               |               |             |               |             |
| 18.1                        | TH-CAN-FS18 1   |               |               |             |               |             |
| 18.2                        | TH-CAN-FS18 2   |               |               |             |               |             |
| <b>Linie Atlanta</b>        |                 |               |               |             |               |             |
| 19.1                        | CHE-ATL-1       |               |               |             |               |             |
| <b>Linie Calabrese</b>      |                 |               |               |             |               |             |
| 20.1                        | CHE-CAL-1       |               |               |             |               |             |
| <b>Linie Coastel</b>        |                 |               |               |             |               |             |
| 21.1                        | CN-COA-1        |               |               |             |               |             |
| <b>Linie Primo</b>          |                 |               |               |             |               |             |
| 22.1                        | CN-PRI-1        |               |               |             |               |             |

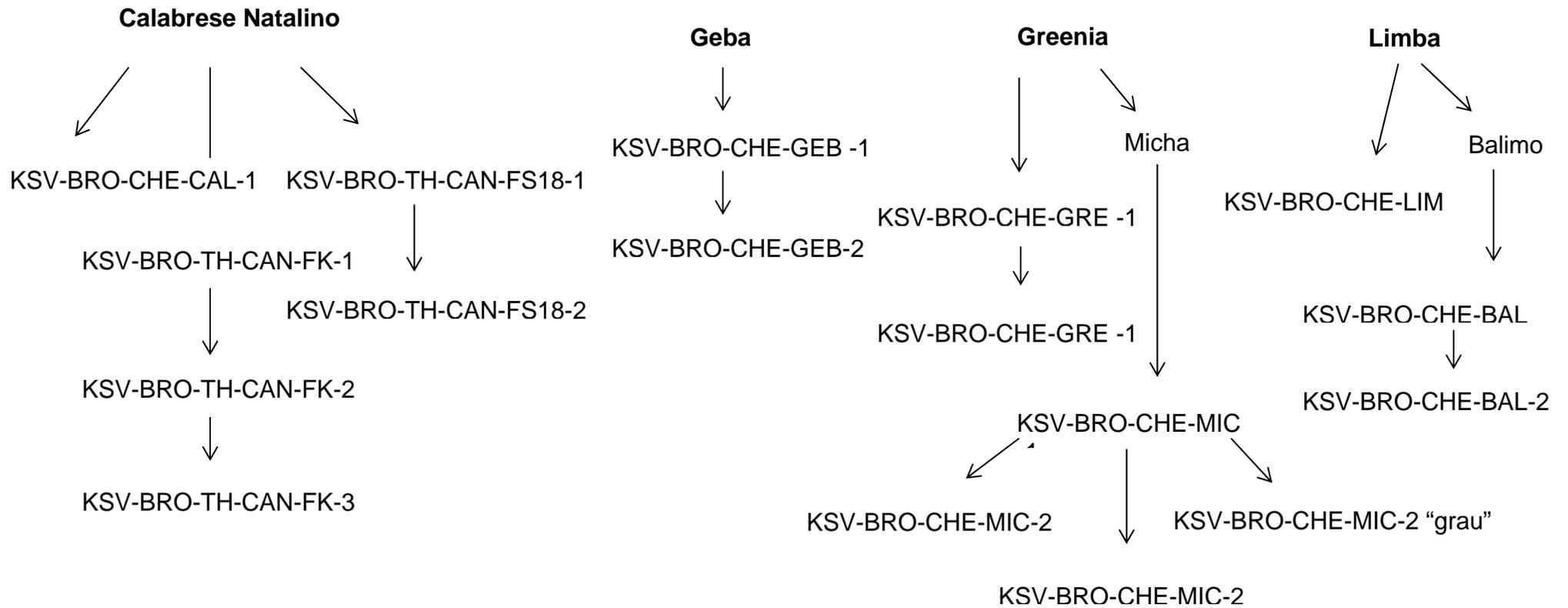


Abbildung 34: Stammbaum der Genotypen, deren Nachkommen im Projekt über mehrere Jahre angebaut wurden

